

**ANALISIS LITOLOGI LAPISAN SEDIMEN BERDASARKAN
METODE *HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO*
(HVSr) DAN DATA BOR DI KAWASAN JALUR SESAR
OPAK**

SKRIPSI

Diajukan Kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Yogyakarta

Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains



Oleh:

ARIF SUDRAJAT

12306141034

**UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
JURUSAN FISIKA**

2017


PERSETUJUAN


Skripsi yang berjudul “ANALISIS LITOLOGI LAPISAN SEDIMEN BERDASARKAN METODE HVSR DAN DATA BOR DI KAWASAN JALUR SESAR OPAK” yang disusun oleh Arif Sudrajat, NIM 12306141034 ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan.



Pembimbing I,

Yogyakarta, 29 Maret 2017
Pembimbing II,



Nugroho Budi Wibowo, M.Si.
NIP. 19840223 200801 1 011

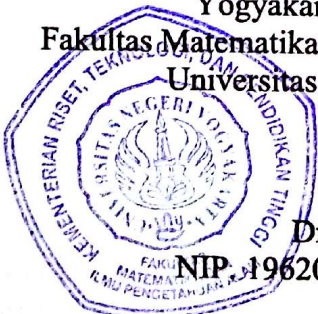

Denny Darmawan, M.Sc.
NIP. 19791202 200312 1 002

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul “ANALISIS LITOLOGI LAPISAN SEDIMEN BERDASARKAN METODE *HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO* (HVSR) DAN DATA BOR DI KAWASAN JALUR SESAR OPAK” yang disusun oleh Arif Sudrajat, NIM 12306141034 ini telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada tanggal 3 April 2017 dan dinyatakan LULUS.

Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
Nugroho Budi W, M.Si NIP. 19840223 200801 1 011	Ketua Penguji		7-9-17
Denny Darmawan, M.Sc. NIP. 19791202 200312 1 002	Sekretaris Penguji		5-9-17
Nur Kadarisman, M.Si NIP. 19640205 199101 1001	Penguji Utama		5-9-17

Yogyakarta, 10 April 2017
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
Dekan,

Dr. Hartono
NIP. 19620329 198702 1 002



SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **ANALISIS LITOLOGI LAPISAN SEDIMEN BERDASARKAN METODE *HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO* (HVSr) DAN DATA BOR DI KAWASAN JALUR SESAR OPAK** adalah benar merupakan hasil karya saya sendiri dan semua sumber data serta informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya.

Bila pernyataan ini tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Skripsi ini terdaftar dan tersedia di perpustakaan Jurusan MIPA dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis dengan mengikuti aturan HKI yang berlaku di Universitas Jenderal Soedirman. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Yogyakarta, April 2017
Yang menyatakan,

Arif Sudrajat
12306141034

MOTTO

Yaa asyiqol mustofa, absyir binailil muna

Wahai perindu nabi, bergembiralah dengan memperoleh harapan

Qod roqoka' susshofa, watoba wafdul hana

Telah bersinar piala bukit shofa, dan bahagia golongan yang mempunyai nasab rendah

Nuurul jamaali badaa, min wajhi syamsil hudaa

Cahaya keindahan muncul, dari wajah matahari petunjuk

Man fadluhu 'ammaanaa

Yaitu orang yan keutamaannya meliputi kita

Thoohalladzi billiqoo, qod faazalammarqoo

Nabi yang denga pertemuan, ia mendapat keberuntungan saat naik (isra')

min robbihi qod danaa

dekat di sisi Tuhannya

PERSEMBAHAN

Karya sederhana ini saya persembahkan teruntuk:

Nyonya Sunari, pemilik doa dan ridho bagi saya untuk mencium surga Allah lewat telapak kakinya

Tuan Sutan, imam bagi kami para makmum, di keluarga sederhana menuju ridho dan surga-Nya

Ananda Arvin Wahyu Maulana, adik sekaligus makmum saya saat sholat ketika saya di rumah, yang katanya kalau sudah besar ingin menjadi seperti kakaknya

Dia, seseorang yang sampai sekarang belum saya ketahui, *fa insyaallah* menjadi makmum sekaligus permaisuri saya kelak di surga-Nya

Almamater, tempat saya belajar dan menata pola pikir menjadi manusia lebih baik, Universitas Negeri Yogyakarta

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Salam Sejahtera untuk kita semuanya.

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah 'Azza wa Jalla atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga skripsi yang berjudul **“Analisis Litologi Lapisan Sedimen Berdasarkan Metode *Horizontal To Vertical Spectral Ratio* (HVSr) dan Data Bor di Kawasan Jalur Sesar Opak”**, dapat diselesaikan dengan baik.

Shalawat dan salam semoga Allah curah limpahkan selalu kepada Rasulullah shallallahu 'alaihi wa sallam, keluarga, sahabatnya serta orang-orang yang senantiasa mengikuti mereka dengan kebaikan. Skripsi ini disusun untuk memenuhi kurikulum akademis sebagai salah satu syarat kelulusan yang ada di Strata Satu (1) Program Studi Fisika Jurusan Pendidikan Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta. Skripsi ini terdiri dari lima bab. Bab pertama menjelaskan pendahuluan, bab kedua tinjauan pustaka, bab ketiga metode penelitian bab keempat hasil dan pembahasan serta bab kelima kesimpulan dan saran.

Akhir kata, semoga skripsi ini memberikan manfaat bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya. Wa shallallahu 'ala nabiyyinaa Muhammadin wa 'alaa aalihi wa shohbihi wa sallam.

Walhamdulillahi Rabbil 'alamiin

Yogyakarta, April 2017
Penulis

Arif Sudrajat
12306141034

ANALISIS LITOLOGI LAPISAN SEDIMEN BERDASARKAN METODE *HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO* HVSR DAN DATA BOR DI KAWASAN JALUR SESAR OPAK

Oleh:

ARIF SUDRAJAT

12306141034

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang analisis litologi lapisan sedimen di kawasan jalur Sesar Opak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variasi kedalaman lapisan sedimen dan memetakan zona rawan gempa berdasarkan metode HVSR dan data bor di kawasan jalur Sesar Opak.

Penelitian ini dilakukan di wilayah jalur Sesar Opak yang berada di daerah Bantul hingga Prambanan pada koordinat geografis $7,758^{\circ}$ LS – $7,939^{\circ}$ LS dan $110,346^{\circ}$ BT – $110,532^{\circ}$ BT dengan 86 titik penelitian. Data mikrotremor dianalisis menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) untuk mendapatkan nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi pada setiap titik penelitian. Hasil analisis mikrotremor digunakan untuk menentukan ketebalan lapisan sedimen dan divalidasi menggunakan data bor di wilayah tersebut yang didapatkan dari Disperindagkop Bidang Pertambangan dan Energi Provinsi D.I. Yogyakarta untuk mendapatkan litologi lapisan sedimen wilayah penelitian.

Hasil penelitian ini menunjukkan wilayah yang memiliki nilai ketebalan sedimen relatif tebal yakni 73,75 m sampai dengan 135,37 m berada di sebelah barat jalur Sesar Opak, bagian utara di wilayah Kalasan, Depok, Berbah bagian barat dan utara, Prambanan bagian barat, Piyungan bagian barat daya, Banguntapan dan Kotagede, Pleret bagian barat dan sebagian kecil Pleret bagian timur serta beberapa daerah lain yakni wilayah Kretek dan Pundong. Wilayah lain seperti Jetis, Imogiri, Panggang, Bambanglipuro, sebagian daerah Sewon, Piyungan bagian utara dan Prambanan bagian selatan cenderung memiliki ketebalan sedimen yang lebih tipis antara 3,7 m sampai 69,3 m. Daerah penelitian yang memiliki resiko rawan terhadap gempa bumi berada di Zona I (Bambanglipuro, Pundong dan Kretek) dan Zona IV (Kalasan, Depok, Berbah, Kotagede, Banguntapan, dan sebagian wilayah Prambanan) dengan ketebalan lapisan sedimen yang tebal (73,75 m sampai 135,37 m). Sedangkan daerah yang memiliki resiko rawan gempa bumi relatif lebih kecil berada di Zona II (Imogiri, Jetis dan sebagian daerah Pleret) dan Zona III (Sebagian daerah Prambanan dan Piyungan) dengan ketebalan lapisan sedimen tipis (3,7 m sampai 69,3 m).

Kata kunci: *Sesar Opak , HVSR, mikrotremor*

THE ANALYSIS OF SEDIMENT LAYER LITHOLOGY BASED ON HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSr) METHOD AND BOREHOLE DATA IN OPAK FAULT LINES AREA

By:

ARIF SUDRAJAT

12306141034

ABSTRACT

The research about analysis of sediment layer lithology in Opak fault lines had been finished. The aim of this study was to identify variation of sediment layers lithology and mapping the earthquake-prone zones based methods HVSr and borehole data in the area of Opak fault lines.

The area of this research was in the area of Opak fault lines which located in Bantul until Prambanan at geographical coordinates 7.7580 LS - 110.3460 LS and 7.9390 BT - 110.5320 BT using 86 research points. The microtremor signals analyzed using Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) to get the predominant frequency and amplification factors at each point. The result of microtremor analysis was used to determine the value of sediment thickness (H) and was validated using borehole in the area to get sediment layers lithology of the research area.

The results of this research indicate that area with thick sediment layer thickness is 73,75 m to 135,37 m was in west side of Opak fault lines, northern part of Kalasan, Depok, western part and northern part of Berbah, western part of Prambanan, southwestern part of Piyungan, Banguntapan and Kotagede, western part of Pleret and small region in eastern part of Pleret and others area like Kretek and Pundong. The other areas like Jetis, Imogiri, Panggang, Bambanglipuro, partially Sewon, northern part of Piyungan and southern part of Prambanan have thinner sediment thickness between 3,7 m to 69,3 m. The area of research which have risk-prone to earthquakes was in Zone I (Bambanglipuro, Pundong and Kretek) and Zone IV (Kalasan, Depok, Berbah, Kotagede, Banguntapan, and part of Prambanan) with thick sediment layer thickness (73, 75 m to 135.37 m). While the risk-prone area which have relatively smaller earthquakes was in Zone II (Imogiri, Djetis and parts Pleret) and Zone III (some part of Prambanan and Piyungan) with thin sediment layer thickness (3.7 m to 69.3 m).

Keywords: Opak fault lines, *HVSr*, *microtremor signals*

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulisan skripsi ini dapat terselesaikan atas bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayah dan inayahnya, sehingga skripsi ini dapat tersusun dengan baik.
2. Kedua orang tua dan segenap keluarga besar penulis atas segala kasih sayang, do'a, dan dukungannya. Semoga Allah selalu melindungi dan merahmati mereka.
3. Bapak Dr. Hartono selaku Dekan FMIPA UNY yang telah mengesahkan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Slamet Suyanto selaku Wakil Dekan I FMIPA UNY yang telah menyetujui izin penelitian ini sehingga penelitian dapat terlaksana.
5. Bapak Yusman Wiyatmo, M. Si selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY yang telah membantu dalam hal administrasi skripsi ini.
6. Bapak Nur Kadarisman, M. Si selaku Ketua Program Studi Fisika UNY yang telah memberi izin dalam pelaksanaan skripsi ini.
7. Bapak Nugroho Adi Wibowo, M.Si., selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan arahan, masukan dan waktu yang tidak sedikit dengan penuh pengertian dan kesabaran dalam membimbing penulis.
8. Bapak Denny Darmawan, M.Sc., selaku dosen pembimbing II yang telah membimbing serta banyak memberi banyak saran dan nasihat pada penulis.
9. Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika yang telah mengizinkan untuk melakukan penelitian.
10. Seluruh staff dosen Program Studi Fisika FMIPA UNY yang telah mengajarkan ilmunya selama perkuliahan.
11. Para santri Pondok Pesantren Darul Ulum Wal Hikam Yogyakarta yang telah memberikan dukungan secara dhohir dan batin.

12. Teman-teman seperjuangan penelitian (YYURA) yang membantu penulis menyelesaikan penelitian ini dan masih berpegang teguh dengan prinsip bahwa laki-laki selalu salah.
13. Teman-teman FISIKA B 2012, kakak dan adik angkatan fisika, rekan-rekan komunitas geofisika Soedirman, serta semua pihak yang telah mendukung dan membantu terselesaikannya skripsi ini.
14. Serta semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu yang telah membantu penyusunan tugas akhir ini baik secara langsung maupun tak langsung.

Jaza'kumullah khoiran katsiran. Semoga Allah 'Azza wa Jalla memberikan balasan atas kebaikannya. Akhir kata, semoga skripsi ini memberikan manfaat bagi penulis khususnya dan pembaca umumnya. Aamiin.

Yogyakarta, April 2017

Penulis

Arif Sudrajat

DAFTAR ISI

JUDUL	i
PERSETUJUAN	ii
PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN.....	iv
MOTTO	v
PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
UCAPAN TERIMA KASIH.....	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii

BAB I. PENDAHULUAN..... 1

A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	7
C. Batasan Masalah.....	7
D. Rumusan Masalah	8
E. Tujuan Penelitian	9
F. Manfaat Penelitian	9

BAB II. DASAR TEORI..... 10

A. Dasar Teori.....	10
1. Gempa Bumi	10
2. Gelombang Seismik	12
a. Gelombang Badan.....	12
1. Gelombang Primer	12
2. Gelombang Sekunder	13
b. Gelombang Permukaan	14
1. Gelombang Love.....	14
2. Gelombang Rayleigh.....	15

3. Sesar Opak	15
4. Mikrotremor	19
5. Seismograf dan Seismometer	20
6. Metode HVSR	21
7. Litologi Lapisan Sedimen	25
8. Ketebalan Lapisan Sedimen	26
9. Transformasi Fourier, DFT, dan FFT	29
B. Kerangka Berpikir	32
BAB III. METODE PENELITIAN	33
A. Waktu dan Tempat Penelitian	33
B. Instrumen Penelitian	34
1. Perangkat Lunak	34
2. Perangkat Keras	35
C. Teknik Pengambilan Data	36
D. Teknik Analisis Data	41
E. Diagram Alir Penelitian	45
BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	46
A. Frekuensi dominan, periode dominan, faktor amplifikasi dan ketebalan sedimen	46
B. Litologi lapisan sedimen dan struktur geologi kawasan jalur Sesar Opak	56
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	67
A. Kesimpulan	67
B. Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Peta Tektonik Indonesia (Hall, 2002)	1
Gambar 2. Peta Distribusi Episenter Gempa Bumi di Indonesia tahun 1900-2000 (USGS, 2010)	3
Gambar 3. Ilustrasi Deformasi (a) <i>Subduction</i> , (b) <i>Extruction</i> , (c) <i>Transcursion</i>	11
Gambar 4. Interferensi Konstruktif	14
Gambar 5. Interferensi Destruktif	14
Gambar 6. Ilustrasi Gelombang P (Elnashai dan Sarno, 2008).....	16
Gambar 7. Ilustrasi Gelombang S (Elnashai dan Sarno, 2008).....	17
Gambar 8. Ilustrasi Gelombang <i>Love</i> (Elnashai dan Sarno, 2008)	18
Gambar 9. Ilustrasi Gelombang <i>Rayleigh</i> (Elnashai dan Sarno, 2008).....	18
Gambar 10. Notasi geometri untuk menentukan orientasi bidang patahan (Natawidjaja, 2008).....	20
Gambar 11. Ilustrasi gerakan dasar dari sesar: (1) sesar mendatar, (2) sesar turun, dan (3) sesar naik (Ibrahim dan Subardjo, 2005).	20
Gambar 12. Fisiografi Jawa Tengah (Van Bemmelen, 1949, dalam Nurwidyanto, 2010)	21
Gambar 13. <i>Digital Portable Seismograph</i> tipe TDL-303S	23
Gambar 14. Tampilan fisik seismometer tipe TDV-23S	24
Gambar 15. Peta lokasi 39 titik pengambilan data.....	37
Gambar 16. Perangkat keras pengukuran mikrotremor	39
Gambar 17. Peta jalur Sesar Opak berdasarkan peta Geologi Yogyakarta.....	40
Gambar 18. Desain survei 55 titik sebelum survei lapangan dilakukan	41
Gambar 19. Peta lokasi data penelitian	42
Gambar 20. Kurva HVSR	44
Gambar 21. Diagram alir penelitian.....	48
Gambar 22. Peta pemodelan frekuensi dominan (f_0) dikawasan jalur Sesar Opak	50
Gambar 23. Peta pemodelan frekuensi dominan (f_0) dioverlay dengan formasi geologi dikawasan jalur Sesar Opak	51

Gambar 24. Peta pemodelan faktor amplifikasi (A_0) di kawasan jalur Sesar Opak	53
Gambar 25. Peta pemodelan faktor amplifikasi (A_0) yang <i>dioverlay</i> dengan formasi geologi di kawasan jalur Sesar Opak	54
Gambar 26. Peta pemodelan ketebalan sedimen (H) di jalur Sesar Opak	55
Gambar 27. Peta pemodelan ketebalan lapisan sedimen (H) yang <i>dioverlay</i> dengan formasi geologi di kawasan jalur Sesar Opak	57
Gambar 28. Peta pemodelan pengaruh nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi terhadap nilai ketebalan sedimen	58
Gambar 29. Peta pemodelan kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 m (V_{s30}) di jalur Sesar Opak	60
Gambar 30. Peta pemodelan kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 m (V_{s30}) yang <i>dioverlay</i> dengan formasi geologi di kawasan jalur Sesar Opak	61
Gambar 31. Peta pembagian zona validasi data bor di jalur Sesar Opak	64
Gambar 32. Model penampang 3 dimensi litologi lapisan sedimen zona I	64
Gambar 33. Model penampang 3 dimensi litologi lapisan sedimen zona II	66
Gambar 34. Model penampang 2 dimensi litologi lapisan sedimen Zona I	65
Gambar 35. Model penampang 2 dimensi litologi lapisan sedimen Zona II	66

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Klasifikasi Tanah Kanai & Tanaka (Martasari, 2013).....	30
Tabel 2. Klasifikasi Jenis Batuan berdasarkan <i>Uniform Building Code</i> (UBC).....	31
Tabel 3. Klasifikasi Tanah sesuai dengan <i>Eurocode 8</i> (Mufida, dkk 2013)	31
Tabel 4. Pengelompokkan ketebalan sedimen tervalidasi data bor.....	63

DAFTAR LAMPIRAN

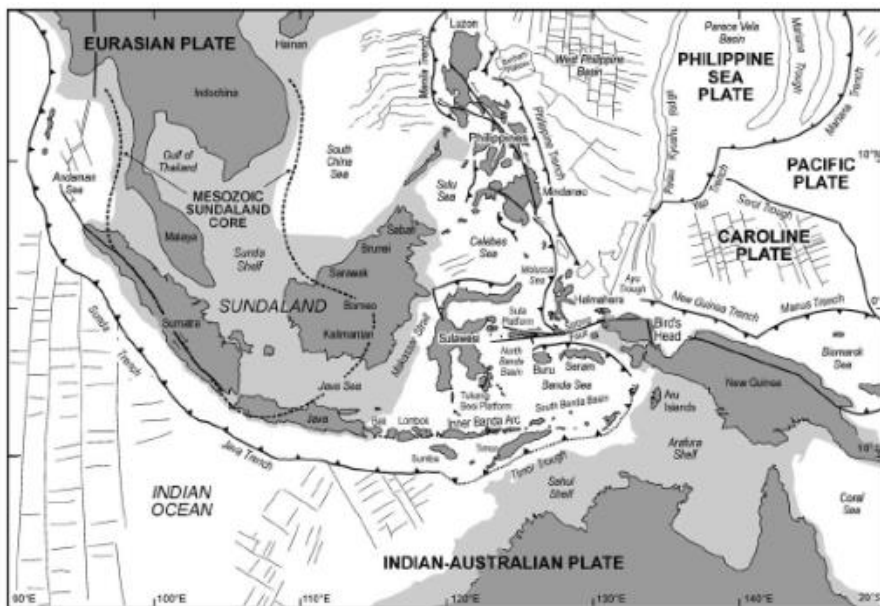
Lampiran I. Data Hasil Penelitian	L1
Lampiran II. Reliabilitas Kurva HVSR.....	L4
Lampiran III. Kurva HVSR.....	L9
Lampiran IV. Tahap-Tahap Pengolahan Data	L39
Lampiran V. Program Analisis Dalam Matlab	L57
Lampiran VI. Validasi Data Bor	L61
Lampiran VII. Pengelompokkan Ketebalan Sedimen Tervalidasi Data Bor	L67
Lampiran VIII. Dokumentasi Pengambilan Data.....	L68
Lampiran IX. Data Uji Bor Di Kabupaten Bantul	L69

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

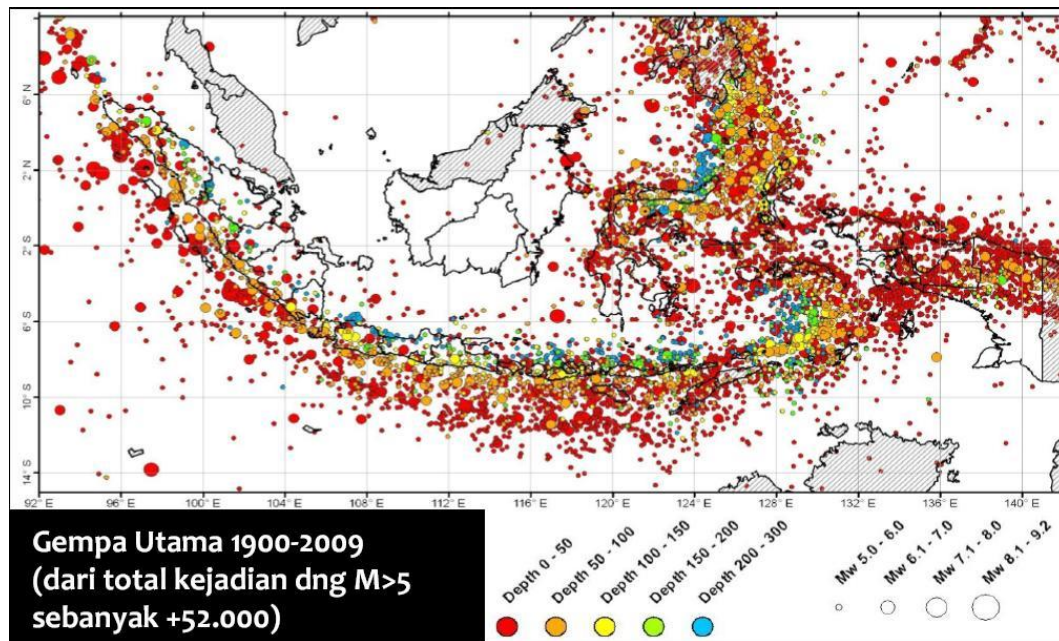
Kepulauan Indonesia menempati zona tektonik yang sangat aktif karena terletak pada pertemuan tiga lempeng aktif dunia yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Samudera Hindia-Benua Australia dan Lempeng Samudera Pasifik membentuk jalur-jalur pertemuan yang kompleks. Ketiga lempeng tersebut memiliki kecenderungan bergerak dengan arah yang berbeda-beda. Lempeng Eurasia bergerak ke selatan sekitar 0,4 cm/tahun, Lempeng Samudera Hindia-Australia bergerak ke utara sekitar 7 cm/tahun, Lempeng Pasifik bergerak ke barat sekitar 11 cm/tahun (Supartoyo dkk., 2008). Pergerakan yang berbeda tersebut menimbulkan tumbukan antar lempeng. Peta kepulauan Indonesia yang berada pada jalur subduksi tiga lempeng ditunjukkan Gambar 1.



Gambar 1. Peta Tektonik Indonesia (Hall, 2002)

Interaksi antar lempeng-lempeng tersebut menjadikan Indonesia sebagai wilayah yang rawan terhadap gempa bumi. Aktivitas gempa bumi yang tinggi ditunjukkan oleh fakta bahwa selama tahun 1897-2009 telah terjadi gempa bumi lebih dari 14.000 dengan magnitudo $M > 5,0$ (Tim Revisi Peta Gempa Indonesia, 2010). Kertapati (dalam Arifti, 2014) mengungkapkan bahwa pergerakan lempeng dasar dalam bentuk papasan maupun penumpuan menimbulkan beberapa zona subduksi dan patahan permukaan. Selain itu pergerakan ini akan membebaskan sejumlah energi yang telah terkumpul sekian lama secara tiba-tiba, di mana proses pelepasan tersebut menimbulkan getaran gempa dengan nilai yang beragam.

Tim Revisi Peta Gempa Indonesia (2010) menyatakan bahwa pulau Jawa memiliki enam patahan besar yaitu Patahan Sunda, Patahan Cimandiri, Patahan Lembang, Patahan Lasem, Patahan Pati, dan Patahan Opak. Sesar Opak merupakan sesar yang berada di sekitar sungai Opak, berarah timur laut-barat daya kurang lebih $U\ 235^{\circ} / T\ 80^{\circ}$, dimana blok timur relatif bergeser ke utara dan blok barat ke selatan dengan lebar dari zona sesar tersebut diperkirakan sekitar 2,5 km (Subowo dkk, dalam Nurwidyanto dkk., 2010). Keberadaan sesar-sesar tersebut menjadi salah satu penyebab gempa bumi di Indonesia. Distribusi episenter gempa bumi di Indonesia ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta distribusi episenter gempabumi di Indonesia tahun 1900-2000
(Tim Revisi Peta Gempa Indonesia, 2010)

Selama tahun 2004 sampai 2010 telah tercatat berbagai aktivitas gempa besar di Indonesia yakni gempa Aceh disertai tsunami tahun 2004 ($M_w=9,2$), gempa Nias tahun 2005 ($M_w=8,7$), gempa Jogja tahun 2006 ($M_w=6,3$), gempa Tasik tahun 2009 ($M_w=7,4$) dan gempa Padang tahun 2009 ($M_w=7,6$). Gempa-gempa tersebut telah menyebabkan ribuan korban jiwa, kerusakan bangunan sekaligus dana triliyunan rupiah untuk rehabilitasi dan konstruksi ulang (Tim Revisi Peta Gempa Indonesia, 2010).

Salah satu contoh gempa bumi berkekuatan cukup besar adalah gempa bumi tanggal 27 Mei 2006 di Yogyakarta dan sekitarnya meliputi daerah Bantul, Kulonprogo, Gunung Kidul, Sleman, Solo, Karanganyar, Klaten, dan Prambanan. Departemen sosial menyebutkan 6.234 orang meninggal, 36.299 orang terluka serta sekitar 1,5 juta orang kehilangan tempat tinggal akibat gempa tersebut. Gempa tersebut juga menyebabkan kerusakan 616.458 unit bangunan

permukiman di Yogyakarta dan Jawa Tengah. Berdasarkan USGS, episentrum gempa bumi berada sekitar 25 km di sebelah tenggara Yogyakarta dengan kedalaman 17,1 km di bawah permukaan laut (Abidin dkk, 2009).

Gempa bumi yang terjadi di Yogyakarta tahun 2006 silam menimbulkan kerusakan yang cukup parah. Hal ini dikarenakan Yogyakarta merupakan wilayah yang termasuk dekat dengan zona tumbukan lempeng serta memiliki struktur geologi yang kompleks. Daerah ini dilewati oleh Sesar Opak yang memanjang di Sungai Opak dari Pantai Selatan ke utara Yogyakarta. Keberadaan Sesar Opak memang telah diperkirakan oleh para geolog dan tertuang dalam peta geologi lembar Yogyakarta keluaran P3G Bandung tahun 1977 dan diperbarui tahun 1995.

Fathonah dkk (2014) telah menginterpretasi struktur bawah permukaan sesar Opak di daerah Pundong, Bantul, Yogyakarta dan menemukan bahwa sesar tersebut merupakan jenis sesar normal atau sesar turun dengan bagian barat mengalami penurunan sedangkan bagian timur cenderung tetap serta berarah N 35⁰ E. Penyusun batuan struktur bawah permukaan di sekitar Kecamatan Pundong terdiri dari Formasi Alluvial Muda, Formasi Nglanggran, Formasi Semilir, Formasi Kebo Butak, dan Formasi Wungkal Gamping.

Sesar Opak menjadi lebih populer setelah kejadian gempa bumi di Yogyakarta dan Jawa Tengah pada 27 Mei 2006, karena sebagian ahli kebumiharian beranggapan penyebab gempa tersebut adalah aktivitas dari Sesar Opak (Nurwidyanto, 2010). Berangkat dari hal tersebut penelitian mengenai Sesar Opak perlu dilakukan.

Seed dan Schnadel (1972) menunjukkan bahwa kerusakan struktur bangunan akibat gempa dan intensitas guncangan tanah selama gempa secara signifikan dipengaruhi oleh kondisi geologi dan kondisi tanah setempat. Batuan sedimen yang lunak dapat memperkuat gerakan tanah selama gempa. Gelombang yang terjebak di lapisan lunak akan mengalami superposisi antar gelombang. Jika gelombang tersebut memiliki frekuensi yang sama, maka terjadi proses resonansi gelombang gempa. Akibat dari proses resonansi tersebut maka gelombang gempa akan saling menguatkan. Oleh sebab itu kerusakan akibat gempa bumi di daerah kawasan sedimen lunak lebih parah dibanding daerah dengan struktur tanah yang keras. Hal ini dapat diartikan bahwa batuan sedimen merupakan salah satu faktor penguat amplitudo gelombang gempa.

Kusumawati (2014) dalam hasil penelitiannya memaparkan bahwa wilayah yang tergolong dalam kategori rawan gempa adalah wilayah yang memiliki daya penguatan guncangan atau amplifikasi tanah yang besar. Nilai amplifikasi tanah dipengaruhi oleh periode dominan tanah dan ketebalan sedimen. Dalam hal ini ketebalan sedimen berpengaruh besar terhadap besar kecilnya guncangan saat terjadi gempa, dimana semakin besar nilai ketebalan sedimen maka nilai periode dominan dan amplifikasi tanahnya akan makin besar, sehingga studi tentang ketebalan lapisan sedimen perlu dilakukan untuk mengetahui struktur lapisan tanah di wilayah tersebut sebagai media rambat getaran gempa.

Sunardi (2012) mengutip hasil penelitian Daryono (2011) bahwa nilai rata-rata indeks kerentanan seismik berdasarkan mikrotremor pada setiap satuan

bentuk lahan berubah mengikuti satuan bentuk lahan dan beberapa faktor yang mempengaruhi indeks kerentanan seismik antara lain jenis material penyusun bentuk lahan, ketebalan sedimen dan kedalaman muka air tanah. Ketebalan sedimen memicu terjadinya resonansi gelombang gempa bumi, sehingga menimbulkan amplifikasi getaran gempa bumi.

Litologi sedimen bawah permukaan dan struktur geologi di kawasan jalur Sesar Opak sangat penting untuk diketahui karena dapat memberikan informasi tambahan mengenai karakteristik dari Sesar Opak yang selama ini belum banyak diketahui. Dengan mengetahui litologi sedimen bawah permukaan dan struktur geologi di jalur Sesar Opak dapat meminimalisir dampak aktivitas gempa yang sering terjadi sehingga proses mitigasi bencana gempa bumi dapat dilakukan dengan lebih cepat dan tepat.

Pengukuran menggunakan mikrotremor adalah salah satu cara untuk mengetahui struktur permukaan lapisan tanah. Mikrotremor adalah gelombang yang merambat pada lapisan sedimen permukaan dan merupakan getaran alami yang disebabkan oleh aktivitas manusia, lalu lintas kendaraan, mesin pabrik, dan sebagainya (Parwatiningtyas, 2008). Analisis dengan menggunakan mikrotremor diharapkan dapat menjelaskan secara nyata tentang kondisi geologi bawah permukaan wilayah rawan gempa khususnya ketebalan sedimen.

Data mikrotremor yang didapatkan digunakan untuk menghitung ketebalan sedimen menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr). Metode HVSr merupakan metode yang memperlihatkan hubungan

antara rasio spektrum Fourier dari sinyal mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikalnya dengan struktur bawah permukaan tanah. Parameter penting yang dihasilkan dalam metode tersebut adalah frekuensi dominan dan faktor amplifikasi (Nakamura, 1989).

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan dapat diidentifikasi masalah-masalah sebagai berikut:

1. Yogyakarta merupakan zona rawan gempa bumi yang memiliki struktur tanah yang kompleks dengan lapisan sedimen berpengaruh besar terhadap kekuatan gempa.
2. Belum banyak penelitian tentang litologi lapisan sedimen berdasarkan metode HVSR di kawasan jalur Sesar Opak.
3. Informasi mengenai struktur geologi di kawasan jalur sesar Opak masih sedikit.

C. Batasan Masalah

Ruang lingkup masalah yang diamati dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian terletak di kawasan jalur Sesar Opak dengan batasan koordinat geografis 7.758° LS - 7.939° LS dan 110.346° BT - 110.532° BT di daerah Kretek, Panggang, Pundong, Bambanglipuro, Bantul, Jetis, Imogiri, Pleret, Sewon, Banguntapan, Kotagede, Piyungan, Berbah, Depok, Kalsan dan Prambanan.

2. Data mikrotremor yang digunakan terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data mikrotremor di kawasan jalur Sesar Opak yang diambil secara langsung sebanyak 39 titik dengan interval 2 km tiap titiknya. Data sekunder adalah data mikrotremor dari penelitian sebelumnya sebanyak 47 titik.
3. Pengambilan data primer maupun sekunder mengacu pada aturan yang ditetapkan oleh *SESAME European Research Project*.
4. Pengukuran mikrotremor menggunakan alat TDS-303 (*Digital Portable Seismograph*).
5. Data pengeboran sumur di Kabupaten Bantul didapatkan dari Disperindagkop Bidang Pertambangan dan Energi Provinsi D.I. Yogyakarta sebanyak 32 titik.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah dijelaskan sebelumnya, maka dapat ditentukan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana variasi ketebalan lapisan sedimen di kawasan jalur Sesar Opak?
2. Bagaimana litologi lapisan sedimen dan struktur geologi di kawasan jalur Sesar Opak?

E. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Menentukan variasi ketebalan lapisan sedimen di kawasan jalur Sesar Opak.
2. Memetakan daerah rawan gempa bumi berdasarkan distribusi ketebalan lapisan sedimen di kawasan jalur sesar Opak.

F. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian yang telah dilakukan diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan informasi mengenai struktur lapisan tanah berdasarkan ketebalan lapisan sedimen di kawasan jalur Sesar Opak yang dapat digunakan dalam mitigasi bencana gempa bumi.
2. Menambah ilmu pengetahuan dalam bidang kegempaan bagi masyarakat khususnya di sekitar kawasan jalur Sesar Opak.
3. Visualisasi litologi lapisan sedimen di kawasan jalur sesar Opak dapat digunakan sebagai pertimbangan pemerintah dalam pembangunan di wilayah jalur Sesar Opak.

BAB II

DASAR TEORI

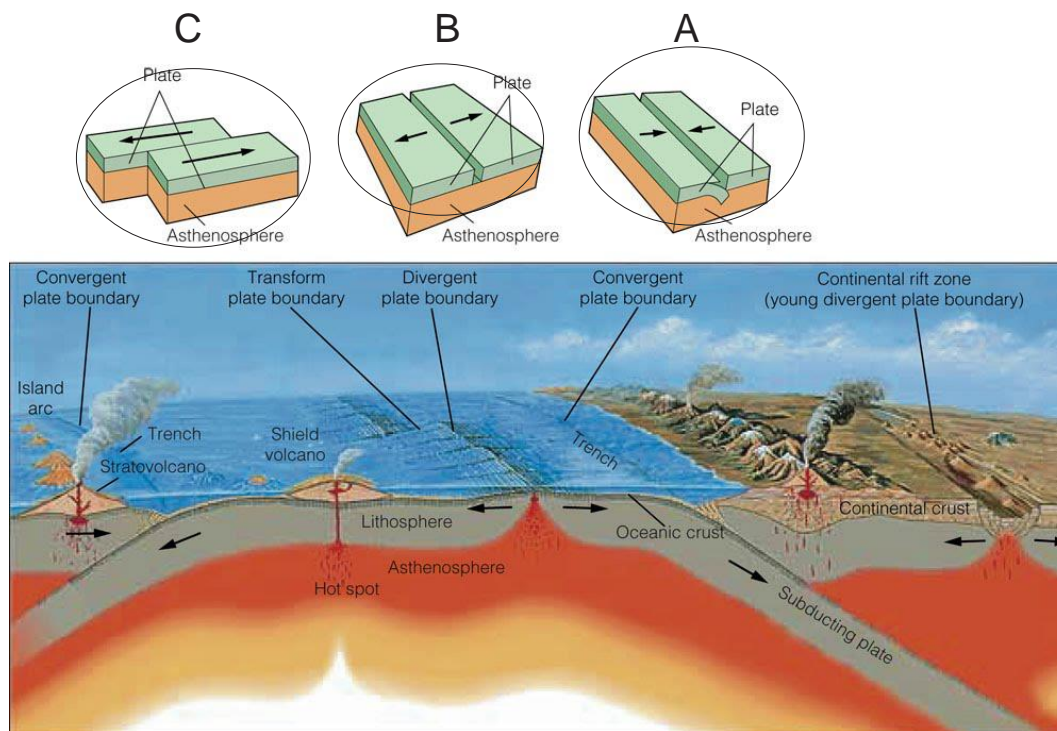
A. Dasar Teori

1. Gempa Bumi

Gempa bumi adalah gerakan tiba-tiba dari tanah dan bersifat *transient* yang berasal dari suatu daerah terbatas dan menyebar dari titik tersebut ke segala arah (Hasmar, 2013). Getaran tersebut terjadi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Energi tersebut dipancarkan ke segala arah dan merambat melalui tanah dalam bentuk gelombang seismik sehingga efeknya dapat dirasakan di permukaan tanah.

Gempa bumi biasanya akan menyebabkan kerak bumi di sekitarnya terdeformasi. Ada beberapa pembagian proses deformasi dalam siklus gempa bumi yakni interseismik, praseismik, koseismik, dan paskaseismik. Pada tahapan interseismik, energi dalam bumi menggerakkan lempeng, dan energi mulai terkumpul di bagian-bagian lempeng tempat biasanya terjadi gempa bumi. Sesaat sebelum terjadi gempa bumi dinamakan tahapan praseismik dan ketika terjadi gempa utama dinamakan tahapan koseismik. Tahapan koseismik merupakan deformasi kerak bumi yang diakibatkan oleh gempa utama dan gempa susulan yang besar. Tahapan paskaseismik merupakan sisa-sisa energi gempa terlepas secara perlahan dan dalam kurun waktu yang lama sampai kondisi kembali ke tahapan kesetimbangan yang baru (Abidin, dkk., 2009).

Deformasi yang disebabkan oleh terjadinya interaksi antar lempeng dapat berupa *subduction*, *extruction* dan *transcursion* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. *Subduction* merupakan interaksi antar lempeng yang tebalnya hampir sama, lempeng pertama tenggelam di bawah lempeng kedua, biasanya terjadi di sepanjang busur pulau. *Extruction* merupakan interaksi antara dua lempeng, tipis, dan saling menjauhi. *Transcursion* merupakan interaksi antara dua lempeng, dimana keduanya dapat berupa lempeng laut atau antara lempeng laut dengan lempeng benua yang bergerak horizontal satu terhadap lainnya.



Gambar 3. Ilustrasi Deformasi (a) *Subduction*, (b) *Extruction*, (c) *Transcursion* (sumber: www.goes-r.gov)

Berdasarkan kedalamannya, gempa bumi dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis, yaitu: gempa dangkal dengan kedalaman 0 sampai dengan 70 km, gempa menengah yang memiliki kedalaman 70 sampai dengan 300 km, dan

gempa dalam yang memiliki kedalaman 300 sampai dengan 800 km (Stein & Wysession, 2003).

2. Gelombang

Gelombang adalah getaran yang merambat dalam suatu medium ataupun tanpa medium. Perambatan tersebut tidak disertai dengan perpindahan tempat secara permanen dari materi-materi medium. Berdasarkan mediumnya gelombang terbagi menjadi dua yakni gelombang mekanik dan gelombang elektromagnetik. Gelombang mekanik, yaitu gelombang yang membutuhkan medium untuk merambat. Contoh: getaran tali, gelombang laut dan gelombang bunyi. Gelombang elektromagnetik, yaitu gelombang yang tidak membutuhkan medium untuk merambat. (Satriawan, 2007)

Gelombang memiliki beberapa sifat umum yaitu dapat mengalami pemantulan (refleksi), pembiasan (refraksi) dan penggabungan (interferensi). Pada setiap pemantulan gelombang akan berlaku sudut datang gelombang sama dengan sudut pantulnya. Gelombang datang, garis normal dan gelombang pantul terletak pada satu bidang datar. Sedangkan dalam perambatannya, sebuah gelombang melewati bidang batas dua medium, maka arah gelombang datang tersebut akan mengalami pembelokan dan besar kecepatan gelombang dan panjang gelombang akan berubah. sedangkan frekuensinya tetap (Kamajaya, 1990).

Interferensi gelombang adalah perpaduan dua gelombang tunggal atau lebih yang terjadi berdasarkan prinsip superposisi. Interferensi gelombang bergantung pada beda fase antar gelombang. Prinsip superposisi adalah jika dua

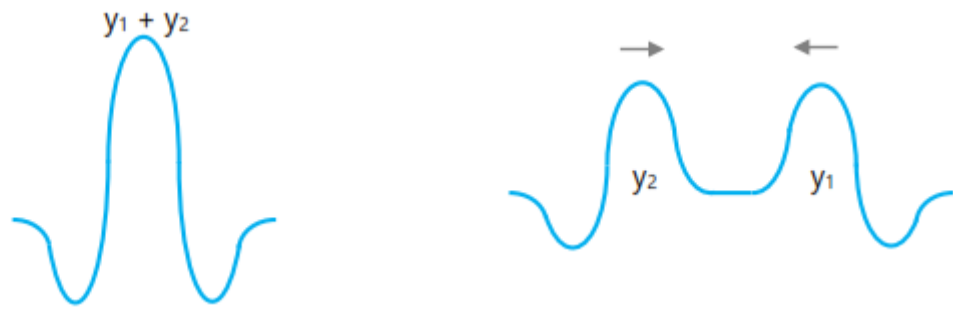
gelombang tunggal atau lebih berjalan dalam suatu medium, maka gabungan fungsi gelombang adalah penjumlahan aljabar dari masing-masing fungsi gelombang tersebut. Sehingga energinya tidak didistribusikan secara merata dalam ruang, melainkan pada titik-titik tertentu dicapai harga *maksimum*, dan pada titik yang lain mencapai harga *minimum*. Perasamaan superposisi gelombang ditunjukkan pada persamaan (1).

$$y_1 + y_2 = A \sin(kx - \omega t) + A \sin(kx - \omega t + \delta) \quad (1)$$

Interferensi gelombang terbagi menjadi dua bagian yakni interferensi konstruktif yakni dua gelombang sefase, keduanya saling menguatkan. Amplitudo gelombang resutan merupakan jumlah amplitudo gelombang-gelombang individual, dan inteferensi destruktif yakni bila dua gelombang mempunyai beda fase π , amplitudo gelombang resultan merupakan selisih amplitudo gelombang-gelombang individual.

Jika beda fase dua gelombang adalah nol, yaitu gelombang sefase, gelombang resultannya memiliki amplitudo yang besarnya dua kali amplitudo masing-masing gelombang seperti yang ditunjukkan pada perasamaan (2) dan Gambar 4.

$$y_1 + y_2 = 2A \sin(kx - \omega t), \text{ dengan } \delta = 0 \quad (2)$$



Gambar 4. Interferensi Konstruktif

Jika beda fasenya adalah π radian = 180^0 , maka gelombang tidak sefase dan kedua gelombang saling menghilangkan jika kedua amplitudonya sama, ditunjukkan pada persamaan (3) dan gambar 5.

$$y_1 + y_2 = A \sin(kx - \omega t) + A \sin(kx - \omega t + \delta) \text{ dengan } \delta = \pi \quad (3)$$

$$y_1 + y_2 = A \sin(kx - \omega t) - A \sin(kx - \omega t) \quad (4)$$

$$y_1 + y_2 = 0 \quad (5)$$



Gambar 5. Interferensi Destruktif

Energi gelombang merupakan energi mekanik yang dibawa atau disalurkan gelombang ketika merambat. Energi gelombang dapat dirumuskan dengan persamaan (6).

$$E = \frac{1}{2}k.A^2 \text{ dengan } k = 4\pi^2.m.f^2.A^2 \quad (6)$$

Sehingga persamaan menjadi

$$E = 2 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot f^2 \cdot A^2 \quad (7)$$

Dengan E adalah energi gelombang (J), k adalah bilangan gelombang, A adalah amplitude (m), m adalah massa beban (kg) dan f adalah frekuensi (Hz).

3. Gelombang Seismik

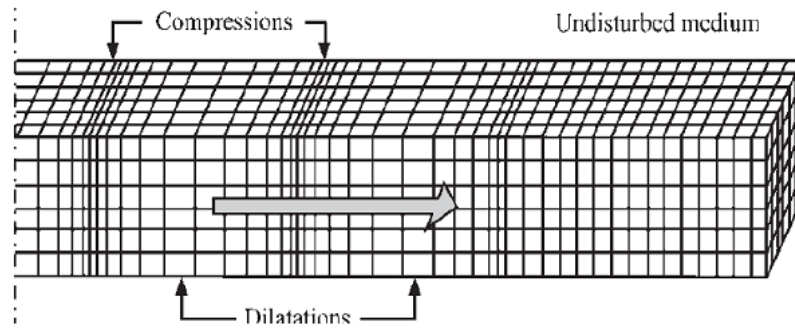
Gelombang seismik merupakan gelombang yang menjalar di dalam bumi, disebabkan adanya deformasi struktur di bawah bumi akibat adanya tekanan ataupun tarikan karena sifat elastisitas kerak bumi (Kusumawati, 2014). Gelombang seismik dibedakan menjadi dua tipe gelombang, yakni gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*).

a. Gelombang Badan (*Body Wave*)

Gelombang badan merupakan gelombang yang merambat ke permukaan bumi dari pusat gempa bumi. Gelombang ini sering disebut juga dengan istilah *free wave* karena merambat ke segala arah. Gelombang badan terbagi menjadi dua macam gelombang yaitu gelombang primer dan gelombang sekunder.

1) Gelombang Primer (P)

Gelombang primer merupakan gelombang longitudinal dengan arah gerakan partikelnya sejajar dengan arah perambatannya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Gelombang P dapat merambat di media padat, cair dan gas. Gelombang ini memiliki cepat rambat paling tinggi dibanding gelombang yang lain sehingga akan lebih dulu terdeteksi oleh seismograf. Kecepatan gelombang P di kerak bumi yakni 4-7 km/s, lebih dari 8 km/s di dalam mantel dan inti bumi, sekitar 1,5 km/s di air dan di udara sekitar 0,3 km/s (Carlson dkk., 2011).



Gambar 6. Ilustrasi Gelombang P (Elnashai dan Sarno, 2008)

Cepat rambat gelombang P dapat ditulis dengan persamaan (Kayal, 2008):

$$v_p = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (8)$$

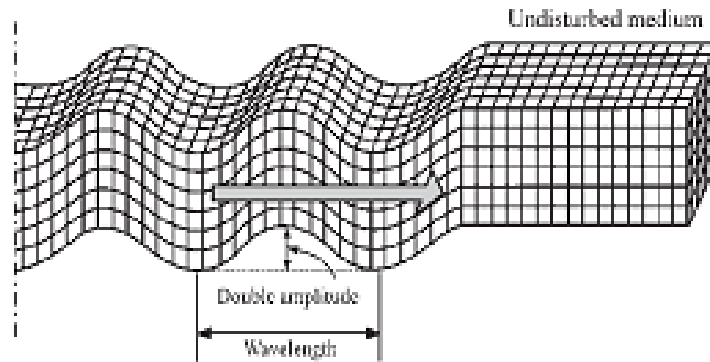
dengan v_p adalah cepat rambat gelombang P (m/s), k adalah modulus bulk (N/m^2), μ adalah modulus geser (N/m^2), dan ρ adalah densitas material yang dilalui gelombang (kg/m^3).

2) Gelombang Sekunder (S)

Gelombang sekunder merupakan gelombang transversal atau *shear wave* karena memiliki arah gerakan tegak lurus dengan arah rambatnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Gelombang S mengikuti gelombang P dan bergerak dengan kecepatan 2-5 km/s. Gelombang ini hanya dapat merambat melalui medium padat karena medium cair dan gas tidak memiliki daya elastisitas untuk kembali ke bentuk semula. Cepat rambat gelombang S dapat ditulis dengan persamaan (Kayal, 2008):

$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (9)$$

dengan v_s adalah cepat rambat gelombang S (m/s), μ adalah modulus geser (N/m^2), dan ρ adalah densitas material yang dilalui gelombang (kg/m^3).



Gambar 7. Ilustrasi Gelombang S (Elnashai dan Sarno, 2008)

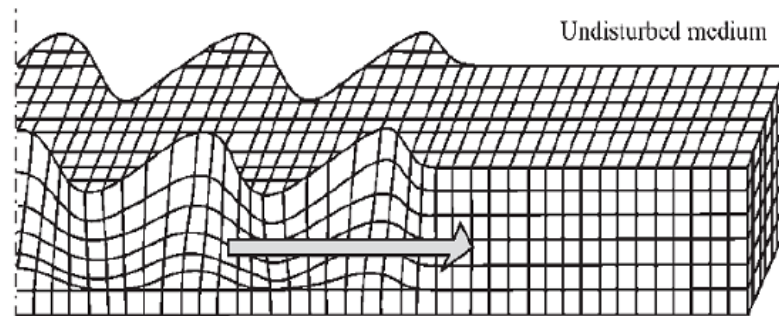
b. Gelombang Permukaan (*Surface wave*)

Gelombang permukaan merupakan gelombang yang paling lambat dan zona perambatannya di kerak bumi. Pada umumnya gelombang ini lebih merusak dari pada gelombang badan, karena lebih banyak menghasilkan pergerakan tanah dan berjalan lambat, sehingga membutuhkan waktu yang lebih lama untuk merambat (Carlson dkk, 2011).

Ada dua tipe utama dari gelombang permukaan, yaitu gelombang Love dan gelombang Rayleigh, dinamai sesuai geofisikawan yang menemukannya.

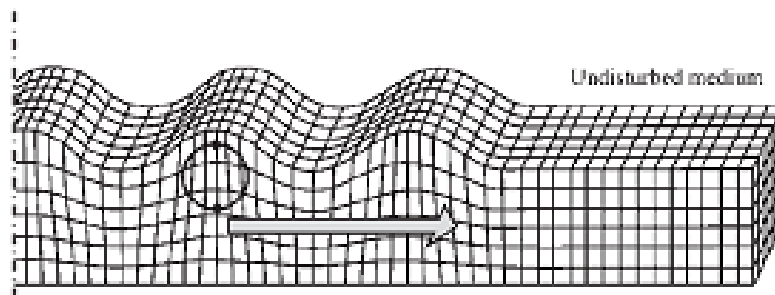
- 1) Gelombang Love, mirip dengan gelombang S yang tidak memiliki perpindahan vertikal dan hanya terpolarisasi secara horizontal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Gelombang ini terbentuk akibat interferensi konstruktif dari pantulan-pantulan gelombang seismik pada permukaan bebas dan tidak dapat merambat di medium air (Carlson dkk, 2011). Karena pergerakan horizontalnya, gelombang Love merusak pondasi bangunan.

Gelombang ini bergerak lebih cepat daripada gelombang Rayleigh dan lebih dulu terbaca oleh seismograf.



Gambar 8. Ilustrasi Gelombang *Love* (Elnashai dan Sarno, 2008)

- 2) Gelombang Rayleigh, merupakan gelombang permukaan hasil kombinasi gerakan gelombang P dan S, menyerupai bentuk elips. Arah gerak tegak lurus terhadap arah getarnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Kecepatan gelombang tergantung pada konstanta elastis dekat permukaan dan nilainya selalu lebih kecil dari gelombang S (Carlson dkk, 2011).



Gambar 9. Ilustrasi Gelombang *Rayleigh* (Elnashai dan Sarno, 2008)

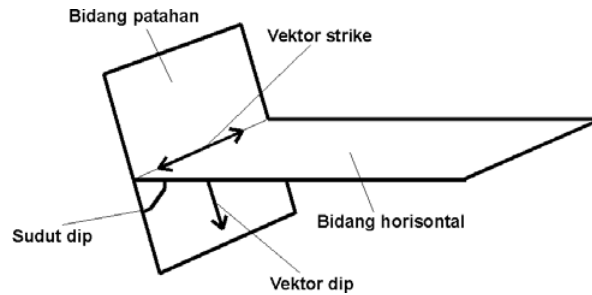
4. Sesar Opak

Sesar adalah retakan pada batuan yang telah mengalami pergeseran sehingga terjadi perpindahan antara bagian-bagian yang berhadapan, dengan arah yang sejajar dengan bidang retakan (Massinai, 2015). USGS mendefinisikan

sesar (*fault*) sebagai sebuah rekahan akibat pertemuan blok di lapisan kerak dimana blok tersebut saling bergerak satu sama lain relatif terhadap arah rekahan. Patahan biasanya terjadi di daerah tumbukan antara lempeng benua dan samudera, namun dapat juga terjadi di tengah benua.

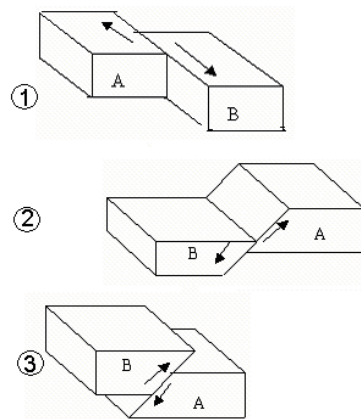
Keller dan Pinter (1996) dalam Massinai (2015) mendefinisikan sesar aktif sebagai sesar yang pernah bergerak pada kurun waktu 10.000 tahun yang lalu. Sedangkan Huzita (1980) dalam Massinai (2015) berpendapat bahwa sesar aktif adalah sesar yang bergerak pada zaman kuartar dan berpotensi untuk bergerak kembali pada masa yang akan datang. Keller dan Pinter juga mendefinisikan sesar berpotensi aktif sebagai sesar yang bergerak pada kurun waktu 2 juta tahun yang lalu, sedangkan sesar tidak aktif adalah sesar yang belum atau tidak pernah bergerak dalam kurun waktu 2 juta tahun yang lalu.

Setiap sesar mempunyai komponen-komponen yaitu arah (*strike*), dan sudut kemiringan (*dip*). Komponen sesar yang menggantung pada bidang sesar disebut *hanging wall*, sedangkan komponen alas bidang sesar disebut *foot wall*. *Strike* merupakan arah bidang sesar yang diukur dari arah utara ke timur dengan sudut antara 0 sampai 360 derajat. *Dip* sesar merupakan sudut yang dibentuk oleh bidang sesar terhadap bidang horizontal dengan sudut antara 0 sampai 90 derajat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 10. Notasi geometri untuk menentukan orientasi bidang patahan (Natawidjaja, 2008).

Dalam keadaan yang sebenarnya permukaan sesar dapat mempunyai keadaan yang berbeda dan demikian pula dengan gerakannya dapat mempunyai arah yang berlainan sepanjang permukaannya. Gerakan dasar dari sesar dapat dibedakan atas tiga bentuk yang ditunjukkan pada Gambar 9.

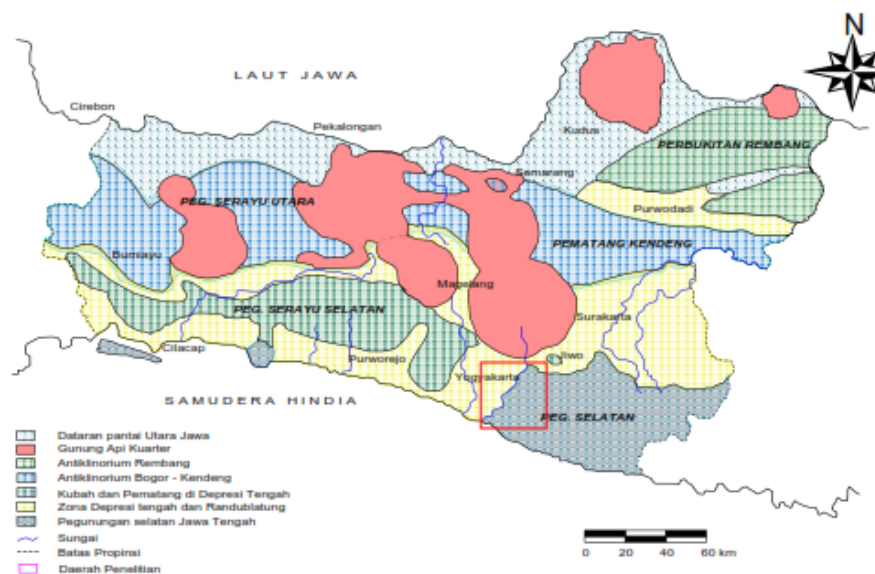


Gambar 11. Ilustrasi Gerakan dasar dari sesar: (1) sesar mendatar, (2) sesar turun, dan (3) sesar naik (Ibrahim dan Subardjo, 2005).

Pada Gambar 11, gambar pertama menunjukkan gerakan sejajar arah sesar, disebut sesar mendatar atau *slip fault*. Tekanan yang terbesar adalah tekanan horizontal dan tekanan vertikal kecil sekali. Gambar kedua menunjukkan sesar relatif ke bawah terhadap blok dasar, disebut sesar turun (sesar normal) atau

gravity fault. Gambar ketiga gerakan relatif ke atas terhadap blok dasar, disebut sesar naik atau *thrust fault (reverse fault)*.

Sesar Opak merupakan sesar yang berada di sekitar sungai Opak yang membentang dari Prambanan sampai muaranya di sebelah barat Parangtritis berarah timur laut-barat daya kurang lebih $U\ 235^0\ T/80^0$, di mana blok timur relatif bergeser ke utara dan blok barat ke selatan dengan lebar dari zona sesar ini sekitar 2,5 km (Nurwidyanto, 2010). Berdasarkan pembagian zona fisiografi Jawa Tengah yang disusun oleh Van Bemmelen (1949) daerah tersebut merupakan bagian dari Zona Pegunungan Selatan seperti ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 12. Fisiografi Jawa Tengah (Van Bemmelen (1949) dalam Nurwidyanto, 2010)

Morfologi daerah kajian dapat dikelompokkan menjadi tiga satuan, yaitu satuan dataran yang terletak di sisi barat Prambanan hingga muara Sungai Opak merupakan bagian dari dataran rendah Yogyakarta yang tersusun oleh endapan

fluvio vulkanik gunung Merapi, satuan perbukitan berelief kuat yang membentang sepanjang timur sungai Opak yang tersusun oleh batuan sedimen, dan satuan dataran tinggi yang merupakan bagian dari dataran tinggi Wonosari tersusun oleh batugamping terumbu dan asosiasinya (Nurwidyanto, 2010).

5. Mikrotremor

Mikrotremor adalah *ambient vibration* dengan amplitudo rendah dari tanah yang ditimbulkan oleh peristiwa alam maupun buatan manusia, seperti angin, gelombang laut, atau getaran kendaraan, yang dapat menggambarkan kondisi geologi dekat permukaan (Rochmah, 2014). Mikrotremor mempunyai frekuensi lebih tinggi dari frekuensi gempabumi. Seismometer dengan sensitivitas tinggi dapat digunakan untuk mengukur mikrotremor.

Observasi mikrotremor dapat dimanfaatkan untuk mengetahui karakteristik lapisan tanah berdasarkan parameter periode dominan dan faktor amplifikasi (penguatan gelombang). Selain itu juga dapat digunakan untuk pemantauan aktivitas gunung api, mendukung eksplorasi geothermal, mikrozonasi, penelitian geofisika lingkungan, serta aplikasi geoteknik (Nurhanafi, 2015). Secara teoritis nilai frekuensi atau periode getaran tanah merupakan cerminan kondisi fisik tanah tersebut. Tanah atau batuan lunak akan mempunyai periode getaran yang panjang dan begitu juga sebaliknya.

Mikrotremor merupakan getaran tanah dengan amplitudo pergeseran sekitar 0,1-1 μm . Mikrotremor diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan rentang periodenya. Jenis pertama adalah mikrotremor periode pendek dengan periode kurang dari 1 detik dan keadaan ini terkait dengan struktur bawah

permukaan yang dangkal dengan ketebalan beberapa puluh meter. Jenis kedua adalah mikrotremor periode panjang dengan periode lebih dari 1 detik, keadaan ini terkait struktur tanah yang lebih dalam, menunjukkan dasar dari batuan keras (Mirzaoglu *et. al.*, 2003).

Data mikrotremor yang telah direkam kemudian dianalisis menggunakan metode HVSR yang menghasilkan spektrum HVSR. Dari hasil spektrum HVSR tersebut akan didapatkan dua parameter penting yang menggambarkan karakteristik struktur lapisan tanah yakni frekuensi dominan dan nilai faktor amplifikasi.

6. Seismograf dan Seismometer

Seismometer adalah alat yang digunakan untuk merespon gerakan tanah akibat gempa bumi. Seismograf adalah gabungan antara seismometer dengan peralatan perekam dan penunjuk waktu yang akurat. Hasil rekaman seismograf disebut dengan seismogram. Pada penelitian ini seismograf yang digunakan adalah *Digital Portable Seismograph* tipe TDL-303S, yang ditampilkan pada Gambar 11.



Gambar 13. Digital Portable Seismograph tipe TDV-303S

Seismometer memiliki tiga detektor yang dapat mendeteksi getaran tanah. Ketiga detektor tersebut terletak di bagian bawah seismometer. Pada penelitian ini seismometer yang digunakan adalah seismometer dengan tipe TDV-23S yang mendeteksi variabel kecepatan dari getaran tanah seperti ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 14. Tampilan fisik seismometer tipe TDV-23S

7. Metode HVSR

Nakamura (1989) mengusulkan metode HVSR untuk mengestimasi frekuensi alami dan amplifikasi geologi setempat dari data mikrotremor. Metode ini juga dapat digunakan untuk melokalisir daerah rawan kerusakan bangunan akibat efek lokal, interaksi antara bangunan dan tanah, dan kekuatan bangunan (Sungkono & Santosa, 2011).

HVSR merupakan salah satu cara untuk memahami sifat struktur bawah permukaan tanpa menyebabkan gangguan pada struktur tersebut. Metode ini merupakan metode yang memperlihatkan hubungan antara struktur bawah permukaan tanah dengan perbandingan rasio spektrum Fourier dari sinyal

mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikalnya (Nakamura, 1989). Metode HVSR menghasilkan parameter penting yaitu nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi yang berkaitan dengan parameter fisik bawah permukaan.

Metode HVSR dapat menjelaskan fenomena frekuensi resonansi lapisan permukaan tanpa harus menggunakan referensi dari batuan *bedrock*, yaitu dengan melakukan pengukuran di satu tempat dan menghasilkan tiga komponen yaitu vertikal, horizontal utara-selatan, dan horizontal timur-barat. Metode ini juga berfungsi untuk mengidentifikasi respon resonansi pada lembah sedimen atau cekungan yang berisi material sedimen. Metode ini merupakan metode yang efektif, murah, dan ramah lingkungan yang dapat digunakan pada wilayah pemukiman.

Dalam karakterisasi HVSR, perlu diketahui model gelombang yang terkandung dalam HVSR terlebih dahulu. Ada beberapa perbedaan pendapat tentang model gelombang yang terkandung dalam HVSR. Nakamura (2000) berpendapat bahwa HVSR merupakan gelombang badan, yakni gelombang SH (Sekunder-Horizontal). Bonnefoy-Claude dkk. (2006) menunjukkan bahwa HVSR terpengaruh oleh gelombang permukaan yakni gelombang Love dan Rayleigh (Sungkono & Santosa, 2011).

Nakamura (1989) mengembangkan konsep bahwa amplitudo dan frekuensi puncak HVSR merepresentasikan amplifikasi dan frekuensi lokasi (*site*) setempat. *Site effect* terjadi akibat keberadaan lapisan tanah lunak yang menempati setengah cekungan dari batuan dasar. Dalam kondisi ini ada empat

komponen gerakan yang terlibat, yaitu komponen gerak horizontal dan vertikal di batuan dasar dan komponen gerak horizontal dan vertikal di permukaan (Arifti, 2014). Faktor amplifikasi dari gerakan horizontal dan vertikal di permukaan tanah sedimen berdasarkan pada gerakan seismik di permukaan tanah yang bersentuhan langsung dengan batuan dasar di area cekungan dilambangkan dengan T_H dan T_V (Nakamura, 2000).

Site Effect (T_{SITE}) pada permukaan lapisan sedimen, biasanya digambarkan dengan cara membandingkan faktor amplifikasi dari gerakan horizontal dan vertikal pada permukaan tanah sedimen.

$$T_{SITE} = \frac{T_H}{T_V} \quad (10)$$

Besarnya faktor amplifikasi horizontal T_H adalah:

$$T_H = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (11)$$

dengan S_{HS} adalah spektrum dari komponen gerak horizontal di permukaan tanah, dan S_{HB} adalah spektrum dari komponen gerak horizontal pada dasar lapisan tanah.

Besarnya faktor amplifikasi vertikal T_V adalah:

$$T_V = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (12)$$

dengan S_{VS} adalah spektrum dari komponen gerak vertikal di permukaan tanah, dan S_{VB} adalah spektrum dari komponen gerak vertikal pada dasar lapisan tanah.

Gelombang Rayleigh mendominasi data mikrotremor dibanding beberapa jenis gelombang yang lain. Pengaruh gelombang Rayleigh pada rekaman mikrotremor memiliki besar yang sama untuk komponen vertikal dan horizontal saat rentang frekuensi 0,2 Hz – 20,0 Hz, sehingga rasio spektrum antara komponen horizontal dan vertikal di batuan dasar mendekati satu.

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} \approx 1 \quad (13)$$

Dengan menyubtitusikan persamaan (4), (5) ke persamaan (3), diperoleh

$$T_{SITE} = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} \quad (14)$$

Persamaan tersebut menjadi dasar perhitungan rasio spektrum mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikalnya (HVSr), sehingga dapat dinyatakan dengan persamaan (8).

$$HVSr = T_{SITE} = \frac{\sqrt{(S_{utara-selatan})^2 + (S_{barat-timur})^2}}{S_{vertikal}} \quad (15)$$

Metode HVSr sangat berguna untuk mengidentifikasi respon resonansi cekungan yang berisi material sedimen. Fenomena resonansi dalam lapisan sedimen adalah terjebaknya gelombang seismik di lapisan permukaan karena adanya kontras impedansi antara lapisan sedimen dengan batuan keras yang lebih dalam. Interferensi antara gelombang seismik yang terjebak pada lapisan sedimen berkembang menuju pola resonansi yang berkenaan dengan karakteristik lapisan sedimen (Sunardi, B. dkk., 2012). Qaryouti & Tarazi (2007) menjelaskan bahwa faktor amplifikasi spektrum HVSr meningkat pada formasi ketebalan sedimen yang lebih tebal dan halus.

8. Litologi Lapisan Sedimen

Bates dan Jackson (1985) dalam Judefrian (2013) mengartikan litologi sebagai deskripsi batuan pada singkapan berdasarkan karakteristiknya seperti warna, komposisi mineral dan ukuran butirnya. Litologi merupakan karakteristik fisik dari batuan. Batuan itu sendiri merupakan gabungan mineral sejenis atau tidak sejenis seperti: granit, marmer, serpih atau tubuh materi mineral yang tidak dapat dipisah-pisahkan seperti obsidian atau materi organik padat seperti batubara. Dalam sudut pandang geologi, batuan tidak harus keras dan kompak. Lumpur, pasir, dan tanah liat termasuk batuan (Soetoto, 2013).

Ada berbagai macam batuan yang ada di bumi, salah satunya adalah batuan sedimen. Batuan sedimen adalah batuan yang terbentuk sebagai hasil pemadatan endapan yang berupa bahan lepas. Menurut Pettijohn (1975), batuan sedimen adalah batuan yang terbentuk dari akumulasi material hasil perombakan batuan yang sudah ada sebelumnya atau hasil aktivitas kimia maupun organisme yang diendapkan lapis demi lapis pada permukaan bumi yang kemudian mengalami pembatuan.

Soetoto (2013) menjelaskan bahwa batuan sedimen terjadi dari pembatuan atau litifikasi hancuran batuan lain atau litifikasi hasil reaksi kimia atau biokimia. Pembatuan atau litifikasi adalah proses terubahnya materi pembentuk batuan yang lepas-lepas (*unconsolidated rock-forming materials*) menjadi batuan yang kompak keras (*consolidated coherent rocks*). Batuan sedimen terbentuk di atas permukaan litosfer sebagai akibat dari aksi-aksi air, udara dan atau aktivitas makhluk organis.

Batu-batu sedimen berada dalam kondisi *loose* (tidak kencang ataupun tidak rapat memadat, renggang) dan dalam keadaan yang padat (*compact*). Batu-batu renggang bisa kering seperti pasir, tapi juga memadat dalam keadaan kering dan menyerap kelembapan seperti tanah liat. Batu-batu sedimen juga bisa mengeras dan menyatu seperti coran semen yang sudah kering. Contohnya seperti pasir bisa menyemen menjadi *sandstone* (batu pasir), atau batu kerikil bisa mengeras dan menyatu menjadi *conglomerate* (Lange dkk., 1991).

9. Ketebalan Lapisan Sedimen

Ketebalan sedimen merupakan salah satu faktor penyebab adanya pengaruh geologi lokal (*local site effect*) ketika terjadi gempa bumi. Periode dominan memiliki pengaruh berbanding lurus dengan ketebalan lapisan sedimen. Semakin besar nilai periode dominan suatu tempat maka makin tebal pula lapisan sedimen di wilayah tersebut begitu juga sebaliknya. Nilai periode dominan merupakan cerminan dari ketebalan sedimen itu sendiri.

Penguatan gelombang pada saat gempa bumi sangat dipengaruhi oleh ketebalan sedimen dan litologi daerah setempat. Makin besar ketebalan sedimen, makin besar pula kemampuan batuan memperbesar amplitudo gelombang. Lapisan sedimen dengan ketebalan kurang dari 10 m cenderung memiliki nilai amplifikasi tanah yang lebih kecil dibanding wilayah dengan lapisan sedimen lebih dari 10 m (Martasari, 2013).

Alluvium yang merupakan endapan paling muda memiliki kerentanan fisik tertinggi ketika terkena guncangan gempa bumi. Batuan vulkanik kuartar memiliki kerentanan lebih rendah dibanding alluvium. Batuan yang memiliki

kerentanan paling rendah yakni batuan umur tersier karena memiliki densitas paling tinggi. Berikut adalah klasifikasi tanah menurut Kanai dan Tanaka yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Tanah Kanai & Tanaka (Martasari, 2013)

Klasifikasi Tanah	Keterangan
Jenis I	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan pasir berkerikil keras (<i>hard sandy gravel</i>)
Jenis II	Batuan alluvial dengan ketebalan 5m. Terdiri dari pasir berkerikil (<i>sandy gravel</i>), lempung keras berpasir (<i>sandy hard clay</i>), tanah liat, lempung (<i>loam</i>) dan sebagainya.
Jenis III	Batuan alluvial yang hampir sama dengan tanah jenis II, hanya dibedakan oleh adanya formasi yang belum diketahui (<i>buff formation</i>).
Jenis IV	Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, <i>top soil</i> , lumpur, tanah lunak, humus, endapan delta atau endapan lumpur dll, yang tergolong ke dalam tanah lembek, dengan kedalaman 30 m.

Ketebalan sedimen dapat diestimasi dengan rasio spektrum H/V. Metode HVSR didasari oleh terperangkapnya getaran gelombang SH pada medium sedimen di atas *bedrock*. Besarnya frekuensi dominan pada bawah permukaan tanah dapat dinyatakan dengan persamaan (Nakamura, 2008):

$$f_0 = \frac{v_s}{4H} \quad (16)$$

dengan H sebagai ketebalan sedimen sehingga:

$$H = \frac{v_s}{4f_0} \quad (17)$$

Persamaan di atas menunjukkan bahwa frekuensi dominan tanah berbanding lurus terhadap kecepatan gelombang SH dan berbanding terbalik terhadap ketebalan sedimen atau dengan kata lain ketebalan sedimen berbanding lurus dengan periode dominan. V_{s30} adalah kecepatan gelombang geser pada

kedalaman 30 meter dan f_0 adalah frekuensi pada amplifikasi maksimum. Adapun klasifikasi nilai V_{s30} (kecepatan gelombang geser pada kedalaman maksimum 30 m) berdasarkan *Uniform Building Code* (UBC) dan *Eurocode 8* ditunjukkan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Klasifikasi Jenis Batuan berdasarkan *Uniform Building Code* (UBC) (Nurrahmi, dkk., 2015)

Tipe Batuan	Profil Jenis Batuan	V_{s30}
A	<i>Hard Rock</i> (Batuan Keras)	>1500 m/s
B	<i>Rock</i> (Batuan Sedang)	760-1500 m/s
C	<i>Very Dense Soil and Soft Rock</i> (Tanah Keras dan Batuan Lunak)	360-760 m/s
D	<i>Stiff Soil</i> (Tanah Sedang)	180-360 m/s
E	<i>Soft Soil</i> (Tanah Lunak)	<180 m/s

Tabel 3. Klasifikasi Tanah sesuai dengan *Eurocode 8* (Mufida, dkk., 2013)

Tipe Tanah	Uraian Gambaran Stratigrafi	V_{s30}
A	Batuan atau formasi batuan lainnya	> 800 m/s
B	Endapan <i>sand</i> atau <i>clay</i> yang sangat padat, <i>gravel</i> , pada ketebalan beberapa puluh meter, ditandai dengan peningkatan sifat mekanik terhadap kedalaman.	360-800 m/s
C	Endapan <i>sand</i> padat atau setengah padat yang tebal, <i>gravel</i> atau <i>clay</i> padat dengan ketebalan beberapa puluhan hingga ratusan meter.	180-360 m/s
D	Endapan tanah kohesi rendah sampai sedang (dengan atau tanpa beberapa lapisan kohesi rendah), atau terutama pada tanah kohesi rendah.	< 180 m/s
E	Lapisan tanah terdiri aluvium pada permukaan dengan nilai V_s tipe C atau D dengan ketebalan bervariasi antara 5 m dan 20 meter, dibawah tanah ini berupa material keras dengan $V_s > 800$ m/s.	
S1	Terdiri dari endapan, atau mengandung lapisan minimal 10 m, pada tanah lempung lunak atau lempung lanauan dengan indeks keplastisan/kekenyalan dan kadar air yang tinggi.	<100 m/s (indikatif)
S2	Endapan tanah encer, tanah liat yang sensitif, atau tanah lain yang tidak termasuk dalam tipe A-E atau S1.	

10. Transformasi Fourier, DFT, dan FFT

Transformasi Fourier digunakan untuk mentransformasikan sinyal waktu kontinyu ke dalam kawasan frekuensi. Transformasi Fourier mendeskripsikan spektrum kontinyu dari sinyal nonperiodik. Transformasi Fourier $X(f)$ dari waktu kontinyu $x(t)$ adalah sebagai berikut (Park, 2010):

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (18)$$

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cos(2\pi ft) dt - j \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \sin(2\pi ft) dt \quad (19)$$

dengan $x(t)$ adalah fungsi dalam domain waktu, $e^{-j2\pi ft}$ adalah fungsi kernel, $X(f)$ adalah fungsi dalam domain frekuensi, dan f adalah frekuensi.

Persamaan (12) akan memiliki nilai apabila terpenuhinya syarat :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)| dt < \infty \quad (20)$$

Agar transformasi Fourier dapat digunakan dalam operasi digital, maka diperlukan sampel-sampel pada kawasan frekuensi dan waktu. Sampel-sampel sinyal kontinyu pada kawasan waktu akan mewakili keseluruhan sinyal kontinyu tersebut. Sampel-sampel tersebut akan mengubah sinyal kontinyu menjadi sinyal diskrit sehingga dibutuhkan *Discrete Fourier Transform* (DFT). DFT didefinisikan sebagai (Park, 2010):

$$X(m) = \sum_{n=-1}^{N-1} x[n] e^{-j\left(\frac{2\pi}{N}\right)mn} \quad (21)$$

dengan n adalah indeks dalam domain waktu = $0, 1, \dots, N-1$, m adalah indeks dalam domain frekuensi = $0, 1, \dots, N-1$. Persamaan (14) menyatakan bahwa DFT merupakan metode yang berguna dalam menentukan amplitudo dan komponen-

komponen frekuensi harmonik ke- m dari suatu sinyal periodik atau koefisien-koefisien deret Fourier.

Pengambilan sampel untuk analisis DFT dari sinyal kontinyu perlu diperhatikan agar tidak terjadi kesalahan. Analisis DFT dari sinyal kontinyu menggunakan perkiraan berupa sampel-sampel, maka perlu dipahami adanya keterbatasan sampel-sampel terhadap bentuk sinyal kontinyu yang sebenarnya. Ada tiga hal yang bisa terjadi akibat kesalahan perkiraan sinyal kontinyu yaitu (Radiana, 2011):

- a) *Aliasing*, karena *sample rate* tidak cukup tinggi untuk menghindari *overlap spectrum*.
- b) *Leakage*, timbul efek distorsi spektrum karena pengabaian sinyal frekuensi pada waktu yang tak terhingga.
- c) *Picket-fence effect*, timbul karena ketidakmampuan DFT mengobservasi sinyal sebagai sinyal kontinyu, karena perhitungan spektrum yang terbatas.

Fast Fourier Transform (FFT) merupakan metode yang lebih cepat dan efisien dibanding DFT. Prinsip kerja FFT adalah membagi sinyal hasil penyamplingan menjadi beberapa bagian kemudian masing-masing bagian diselesaikan dengan algoritma yang sama dan hasilnya dikumpulkan kembali. Ada tiga kelas FFT yang umum digunakan di dalam suatu *software* DSP yaitu *Decimation in Time* (DIT), *Decimation in Frequency* (DIF) dan *Split Radix*. Ketiga jenis FFT tersebut merupakan proses iterasi *sequence* data yang dilakukan secara berbeda dan memanfaatkan fungsi kernel yang memiliki sifat simetris pada suatu nilai tertentu dalam satu periode sinyal (Riyanto, 2009).

Berawal dari persamaan (14), $x(m)$ dipilah menjadi suku genap dan ganjil, sehingga persamaan menjadi

$$\begin{aligned} X(m) &= \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n) e^{-\frac{j2\pi(2n)m}{N}} + \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n+1) e^{-\frac{j2\pi(2n+1)m}{N}} \\ &= \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n) e^{-\frac{j2\pi(2n)m}{N}} + e^{-\frac{j2\pi m}{N}} \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n+1) e^{-\frac{j2\pi(2n)m}{N}} \end{aligned} \quad (22)$$

Dengan mendefinisikan $W_N = e^{-j2\pi/N}$, maka persamaan (15) menjadi

$$X(m) = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n) W_N^{2nm} + W_N^m \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n+1) W_N^{(2n)m} \quad (23)$$

Karena $W_N^2 = W_{\frac{N}{2}}$, persamaan (16) dapat diubah menjadi

$$X(m) = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n) W_{\frac{N}{2}}^{nm} + W_N^m \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n+1) W_{\frac{N}{2}}^{nm} \quad (24)$$

Setelah domain waktu dibagi dua, domain frekuensi juga dibagi dua yaitu

$$X(m + N/2) = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n) W_{\frac{N}{2}}^{n(m+\frac{N}{2})} + W_N^{(m+\frac{N}{2})} \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n+1) W_{\frac{N}{2}}^{n(m+\frac{N}{2})} \quad (25)$$

Karena $W_N^{k+\frac{N}{2}} = -W_N^k$, maka didapatkan

$$X(m + N/2) = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n) W_{\frac{N}{2}}^{nm} - W_N^m \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n+1) W_{\frac{N}{2}}^{nm} \quad (26)$$

Persamaan (19) merupakan FFT radix-2 *Decimation in Time* dengan *sequence* data dipilah menjadi dua bagian genap dan ganjil serta menggambarkan gabungan dua DFT $N/2$ data. Penggunaan sifat periodik dari fungsi kernel membuat perhitungan menjadi lebih efisien karena cukup mengganti tanda operasi menjadi minus.

B. Kerangka Berpikir

Data yang diperoleh dari penelitian di jalur sesar Opak berupa data mikrotremor. Pengolahan data mikrotremor menggunakan metode HVSR, yakni membandingkan komponen horizontal yang terdiri dari komponen utara-selatan dan komponen barat-timur dengan komponen vertikal. Penyelesaian rasio spektrum dari komponen horizontal dengan komponen vertikal menggunakan *software Matlab 2010*. Hasil yang diperoleh berupa nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi dari setiap titik penelitian. Data inilah yang nantinya akan digunakan untuk melakukan analisis selanjutnya.

Nilai ketebalan sedimen dapat dihitung menggunakan persamaan yang melibatkan nilai frekuensi dominan dan nilai kecepatan pergeseran di permukaan (v_s) yang diperoleh dari data USGS. Nilai ketebalan sedimen yang didapatkan divalidasi menggunakan data pengeboran sumur di daerah tersebut untuk mengetahui litologi lapisan sedimen di titik pengambilan data. Berdasarkan hasil validasi tersebut, digunakan *software Rockwork* untuk memodelkan litologi lapisan sedimen secara tiga dimensi.

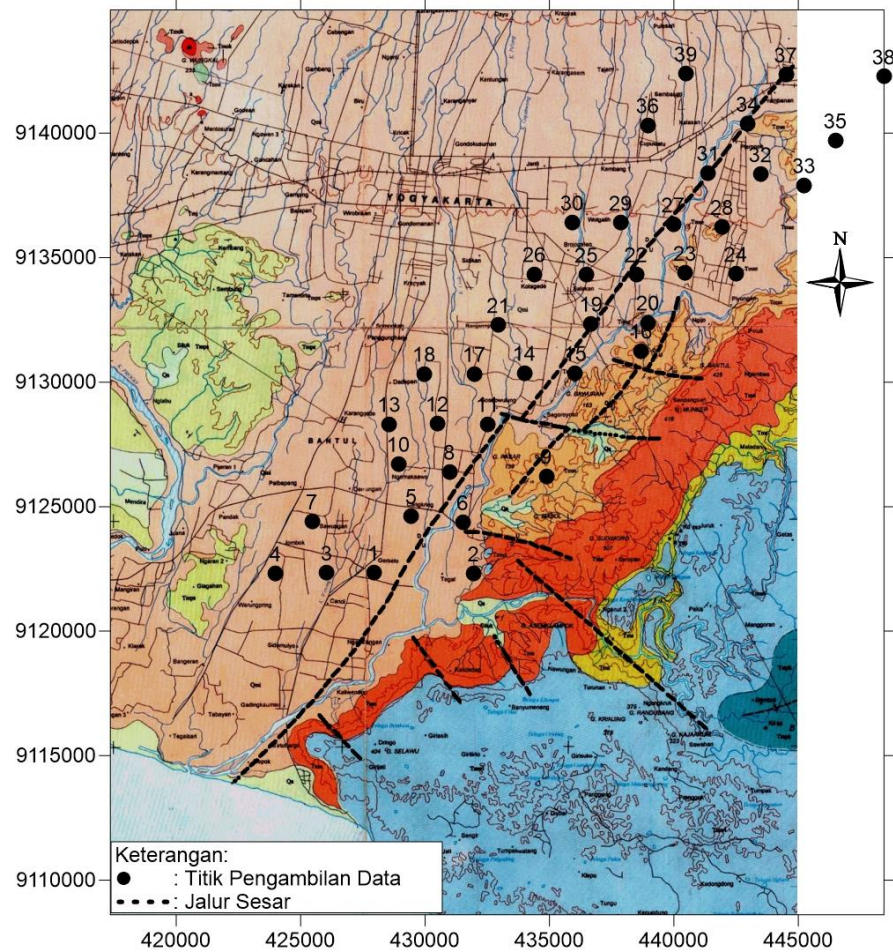
BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Data yang digunakan dalam studi ini berupa data mikrotremor dengan koordinat geografis $7,758^0$ LS – $7,939^0$ LS dan $110,346^0$ BT – $110,532^0$ BT. Pengambilan data primer berupa pengukuran mikrotremor secara langsung yang dilaksanakan pada tanggal 25-29 Januari 2016 pukul 09.00 sampai dengan 18.00 WIB. Sebelum dilakukan pengambilan data, telah dilakukan studi pustaka dan survei lapangan di lokasi penelitian yang dimulai pada bulan November 2015. Pengambilan data mikrotremor dilakukan di 39 titik pada kawasan jalur Sesar Opak dari daerah selatan yaitu Bantul hingga daerah utara yaitu Prambanan yang ditunjukkan pada Gambar 13.

Data sekunder berupa data mikrotremor dari penelitian sebelumnya di Kecamatan Pundong dan Kecamatan Kretek, Kabupaten Bantul, Yogyakarta sebanyak 15 titik lokasi (Marsyelina, 2014). Selain itu juga berupa data mikrotremor dari penelitian yang dilakukan oleh BMKG Yogyakarta sebanyak 32 titik di sekitar Kecamatan Jetis, Kecamatan Pundong, Kecamatan Kretek, dan Kecamatan Imogiri, Kabupaten Bantul Yogyakarta.



Gambar 15. Peta lokasi 39 titik pengambilan data

B. Instrumen Penelitian

Instrumen atau peralatan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari perangkat lunak dan perangkat keras.

1. Perangkat Lunak

Perangkat lunak merupakan perangkat yang berkaitan dengan penggunaan komputer. Perangkat lunak yang digunakan sebagai berikut.

- a. *Google Earth* untuk memperkirakan kondisi lokasi penelitian dan menentukan titik pengambilan data sekaligus membuat desain survei.

- b. *Global Mapper* 13 untuk memasukkan koordinat pengambilan data ke perangkat GPS.
- c. *MATLAB R2010a* berfungsi untuk menganalisis data mikrotremor dengan menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT).
- d. *Sesarray-Geopsy* untuk melakukan analisis kurva HVSR terhadap sinyal mikrotremor.
- e. *Rockwork* 15 untuk memodelkan litologi lapisan sedimen secara 3 dimensi.
- f. *Surfer* 12 digunakan untuk membuat kontur karakteristik ketebalan sedimen di kawasan jalur Sesar Opak.
- g. *Microsoft Excel 2013* yang berfungsi untuk mengubah format data DAT (.dat) menjadi format data kolom *Excel Workbook* (.xls) sekaligus melakukan perhitungan matematis.

2. Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut (ditunjukkan pada Gambar 14).

- a. *Digitizer* tipe TDL-303S untuk merekam sinyal getaran tanah yang diperoleh dari seismometer.
- b. Seismometer tipe TDV-23S untuk mengukur getaran tanah pada setiap titik penelitian.
- c. *Global Positioning System* (GPS) merk Garmin sebagai pemandu dalam menemukan lokasi titik penelitian.
- d. Antena GPS yang terhubung dengan *Digital Portable Seismograph* berfungsi menerima data lokasi dan waktu dari satelit.

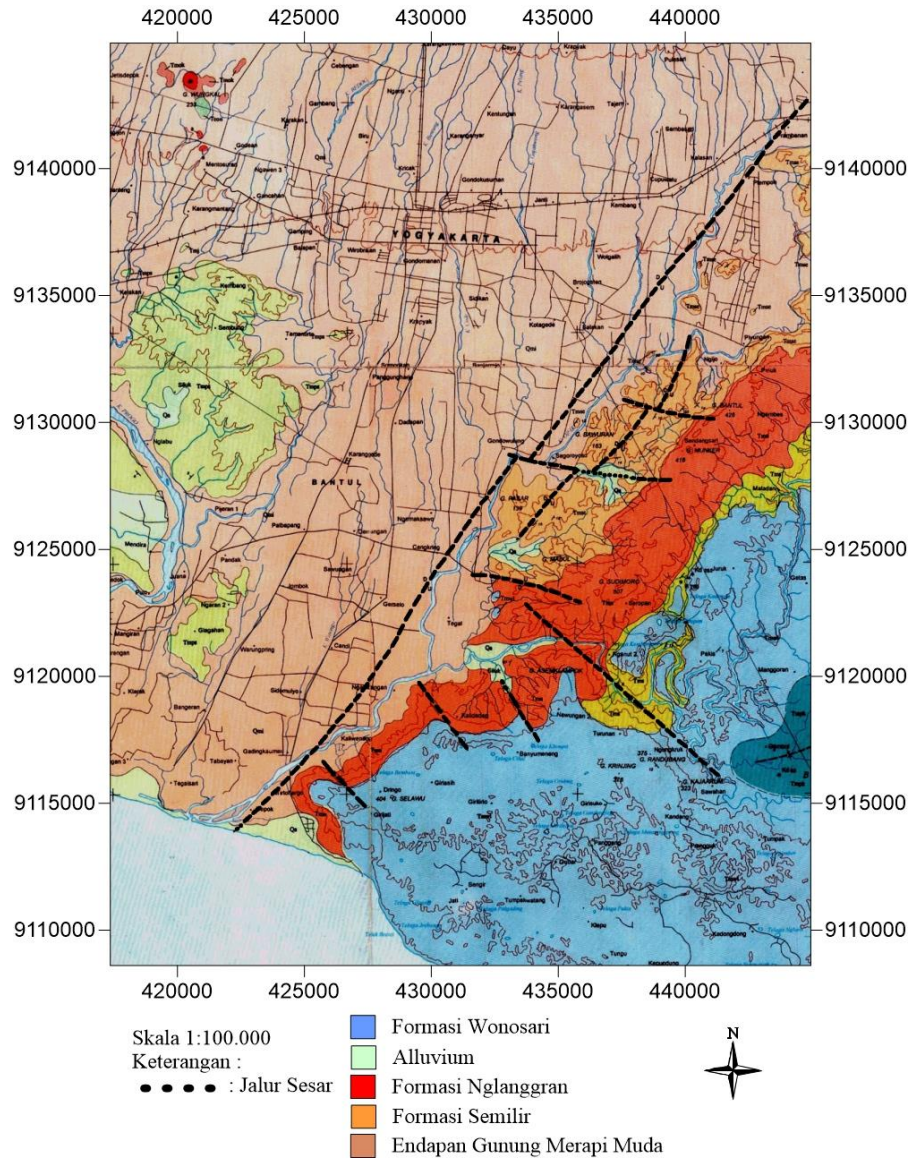
- e. Kompas yang digunakan untuk menentukan arah seismometer pada saat pengambilan data.
- f. Laptop digunakan untuk akuisisi dan analisis sinyal mikrotremor.
- g. Kabel penghubung antara sensor dan seismograf.



Gambar 16. Perangkat Keras Pengukuran Mikrotremor

C. Teknik Pengambilan Data

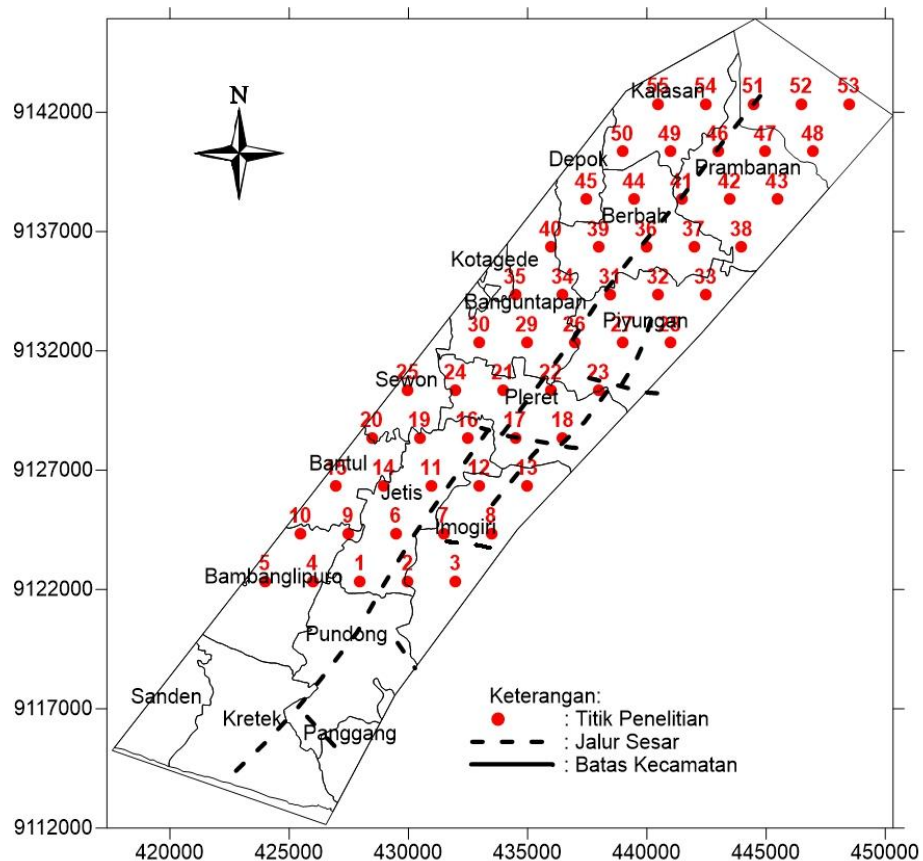
Proses pengambilan data meliputi tahap desain survei dan tahap pengambilan data. Tahap pembuatan desain penelitian atau desain survei untuk menentukan titik-titik lokasi pengambilan data mikrotremor. Titik-titik pengambilan data berada di sekitar kawasan jalur Sesar Opak. Jalur Sesar Opak sesuai dengan yang ditunjukkan peta geologi Yogyakarta pada Gambar 17.



Gambar 17. Peta Jalur Sesar Opak (Sumber: Peta Geologi Lembar Yogyakarta)

Penentuan titik lokasi pengambilan data mikrotremor dilakukan secara grid dengan interval 2 km dalam sumbu vertikal (utara-selatan) dan horizontal (barat-timur), hal ini supaya pengambilan data dapat mewakili seluruh wilayah jalur Sesar Opak. Setelah mempertimbangkan kondisi daerah titik pengambilan data, memungkinkan atau tidaknya pengambilan data dilakukan, peneliti memutuskan untuk mengurangi titik pengambilan data dari 55 titik, yang

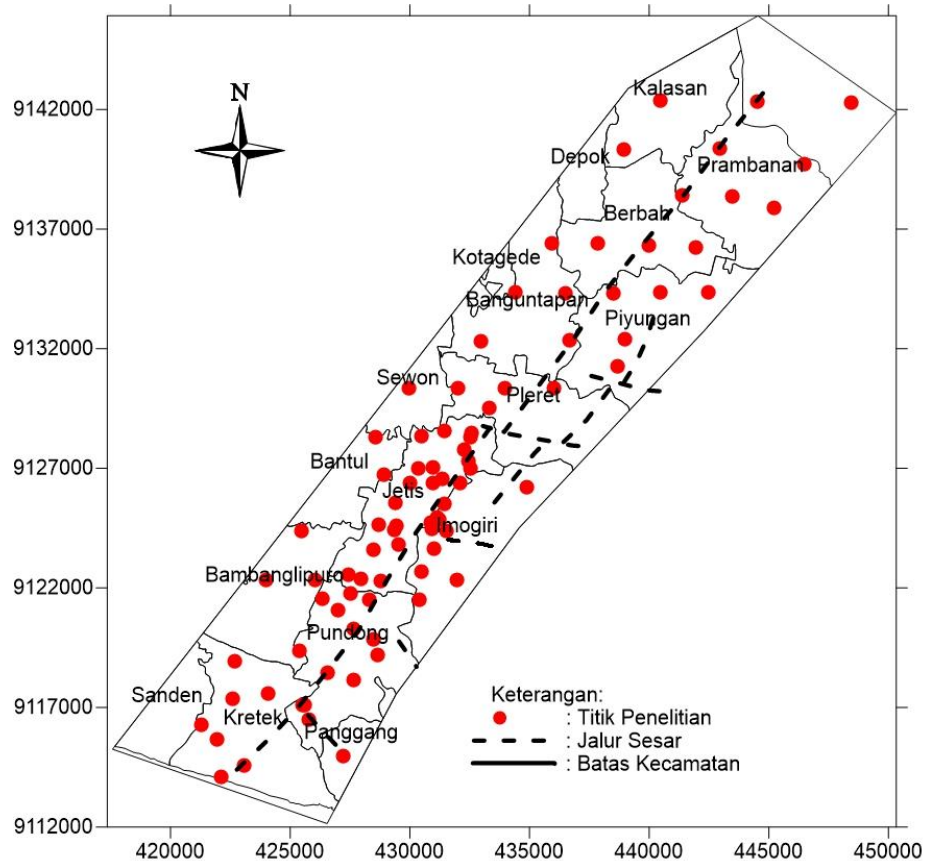
ditunjukkan pada Gambar 18 menjadi 45 titik. Namun setelah melakukan pengambilan data, dikarenakan waktu pengambilan dan kondisi cuaca yang tidak memungkinkan, maka dilakukan pengambilan data di 39 titik dengan distribusi titik yang sudah merata.



Gambar 18. Desain Survei 55 titik sebelum survei lapangan dilakukan

Setelah desain survei ditentukan, dilakukan survei lokasi pengambilan data mikrotremor. Melalui survei ini, peneliti dapat mengenal lokasi dan medan tempat pengambilan data sehingga dapat meningkatkan efektivitas waktu pada saat pengambilan data mikrotremor. Setelah dilakukan survei lapangan dan

mengurangi titik pengambilan data dan digabungkan dengan data lokasi penelitian data sekunder, peta lokasi data penelitian ditunjukkan pada Gambar 19.



Gambar 19. Peta lokasi data penelitian

Penentuan titik lokasi untuk pengambilan data di lapangan mengalami pergeseran dari titik yang sudah ditentukan di desain survei karena mempertimbangkan letak lokasi serta mengacu pada beberapa standar aturan yang ditetapkan oleh *SESAME European Research Project* seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 2.

Data mikrotremor yang terekam memiliki frekuensi *sampling* sebesar 100 Hz. Data hasil pengukuran akan tersimpan secara otomatis dalam penyimpanan *Digital Portable Seismograph*. Hasil pengukuran ini tersimpan dalam tiga

komponen gelombang, yaitu gelombang seismik horizontal *north-south* (utara-selatan), horizontal *east-west* (timur-barat), dan gelombang seismik vertikal.

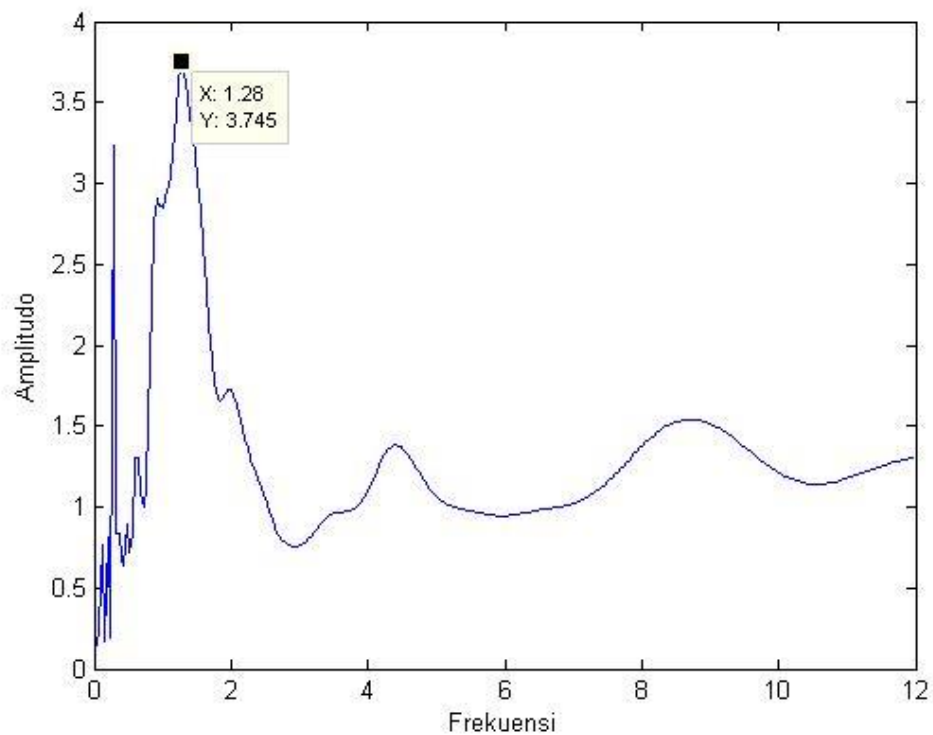
Tabel 2. Persyaratan teknis survei mikrotremor di lapangan (SESAME, 2004).

Jenis parameter	Saran yang dianjurkan	
Durasi pencatatan	<i>fg</i> minimum yang diharapkan (Hz)	Durasi pencatatan minimum yang disarankan (menit)
	0.2	30
	0.5	20
	1	10
	2	5
	5	3
	10	2
<i>Coupling soil-sensor</i> alami (<i>in situ</i>)	<ul style="list-style-type: none"> Atur sensor langsung pada permukaan tanah Hindari menempatkan sensor seismograf pada permukaan tanah lunak (lumpur, semak-semak) atau tanah lunak setelah hujan. 	
<i>Coupling soil-sensor</i> buatan atau artifisial	<ul style="list-style-type: none"> Hindari lempengan yang terbuat dari material lunak seperti karet atau busa. Pada kemiringan yang curam di mana sulit mendapatkan level sensor yang baik, pasang sensor dalam timbunan pasir atau wadah yang diisi pasir. 	
Keberadaan bangunan atau pohon	<ul style="list-style-type: none"> Hindari pengukuran dekat dengan bangunan, gedung bertingkat, dan pohon yang tinggi jika tiupan angin di atas ± 5 m/detik. Kondisi ini sangat mempengaruhi hasil analisa HVSR yang ditunjukkan dengan kemunculan frekuensi rendah pada kurva. Hindari pengukuran di lokasi parkir, pipa air dan gorong-gorong. 	
Gangguan	<ul style="list-style-type: none"> Sumber monokromatik : hindari pengukuran mikrotremor dekat dengan mesin, industri, pompa air, generator yang sedang beroperasi. Sumber sementara : jika terdapat sumber getar <i>transient</i> (jejak langkah kaki, mobil lewat, motor lewat) tingkatkan durasi pengukuran untuk memberikan jendela yang cukup untuk analisis setelah gangguan tersebut hilang. 	

D. Teknik Analisis Data

Langkah kerja analisis data penelitian ini adalah:

1. Menganalisis data mikrotremor dengan metode HVSR sehingga menghasilkan nilai frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A) dari kurva HVSR seperti Gambar 18. Nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi hasil Matlab 2010 digunakan untuk analisis data selanjutnya yakni menghitung nilai ketebalan sedimen. Nilai ketebalan sedimen (H) dihitung dengan persamaan (17).



Gambar 20. Kurva HVSR

2. Melakukan mikrozonasi frekuensi dominan (f_0), faktor amplifikasi (A), dan nilai ketebalan sedimen (H) untuk melihat sebaran nilai ketebalan sedimen di kawasan jalur Sesar Opak.
3. Melakukan validasi nilai ketebalan sedimen dengan data formasi geologi dan data bor. Data formasi geologi diperoleh dari peta geologi Yogyakarta yang akan menunjukkan jenis formasi batuan di titik pengambilan data. Setelah itu nilai ketebalan sedimen divalidasi lagi dengan data pengeboran sumur sesuai dengan lokasi pengambilan data sehingga dapat diketahui susunan litologi lapisan sedimen yang ada di lokasi pengambilan data. Dalam hal ini data pengeboran yang digunakan adalah data pengeboran wilayah Kabupaten Bantul yang didapatkan dari Badan Pembangunan Daerah Kabupaten Bantul.
4. Memodelkan litologi lapisan sedimen secara tiga dimensi menggunakan *software Rockwork*.

Data hasil pengukuran merupakan data mentah mikrotremor yang berupa sinyal getaran tanah yang berdomain waktu. Terdapat tiga komponen sinyal mikrotremor yaitu komponen horizontal *North-South* (NS), komponen horizontal *East-West* (EW), dan yang terakhir komponen vertikal (Z). Tiap-tiap komponen tersebut dianalisis menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT). Pada setiap komponen, paling sedikit dipilih sepuluh *window* yang masing-masing minimal berdurasi 25 detik. Hasil analisis menggunakan algoritma FFT berupa spektrum dari tiap-tiap komponen data mikrotremor tersebut, dan selanjutnya dilakukan *smoothing* data terhadap masing-masing komponen. Smoothing yang

digunakan dalam penelitian ini adalah *smoothing* Konno-Ohmachi yang didefinisikan pada persamaan (27) (Beauval *et al.*, 2003).

$$W(f, f_0) = \left[\frac{\sin\left(\log_{10}\left(\frac{f}{f_0}\right)^b\right)}{\log_{10}\left(\frac{f}{f_0}\right)^b} \right]^4 \quad (27)$$

dengan b adalah faktor yang dapat dikontrol dalam proses *smoothing*. Semua data yang telah *dismoothing* diolah menggunakan teknik HVSR yang merupakan rasio amplitudo spektrum horizontal dan vertikal sesuai persamaan (15) pada dasar teori.

Berdasarkan analisis HVSR didapatkan kurva HVSR yang memberikan informasi nilai frekuensi dominan (frekuensi pada *peak* kurva HVSR) dan faktor amplifikasi (amplitudo *peak* kurva HVSR) yang masing masing diberi simbol f_0 dan A . Kurva HVSR memiliki kriteria reliabilitas dan *clear peak* yang mengacu pada standar yang dibuat oleh SESAME *European Research Project*.

Terdapat tiga kriteria reliabilitas kurva HVSR sesuai tetapan SESAME *European Research Project*. Pertama, nilai frekuensi *peak* kurva HVSR (f_0) harus lebih besar dari 10 dibagi panjang window (l_w). Kedua, jumlah siklus yang signifikan n_c harus lebih besar dari 200 ($n_c > 200$), dimana n_c diperoleh melalui perkalian l_w , f_0 , dan jumlah *window* yang dipilih dalam proses pencarian kurva rata-rata H/V (n_c). Ketiga, standar deviasi dari nilai-nilai amplitudo HVSR sebagai fungsi frekuensi $A(f)$ untuk $0,5f_0 < f < 2f_0$ harus bernilai kurang dari 2 ($\sigma_{A(f)} < 2$) pada kasus f_0 lebih besar dari 0,5 Hz, atau harus bernilai lebih kecil dari 3 ($\sigma_{A(f)} < 3$) pada kasus f_0 kurang dari 0,5 Hz.

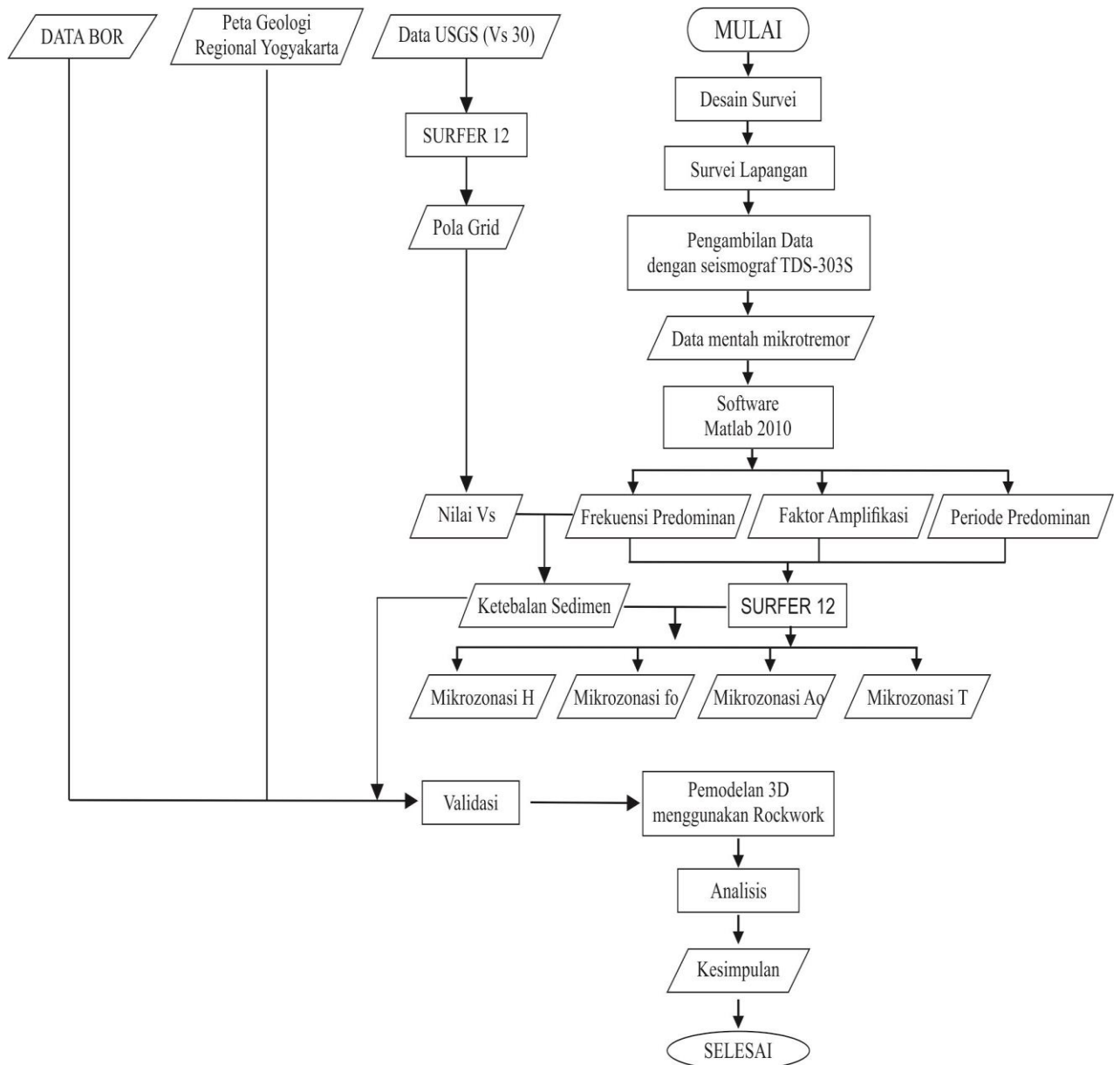
Kriteria untuk *clear H/V peak* terdiri dari enam kriteria. Pertama, terdapat satu frekuensi (f^-) dengan nilai antara $f_0/4$ sampai f_0 yang memiliki nilai $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$. Kedua, terdapat satu frekuensi (f^+) dengan nilai antara f_0 sampai $4f_0$ yang memiliki nilai $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$. Ketiga, nilai amplifikasi pada saat frekuensi f_0 harus lebih besar dari 2. Keempat, frekuensi dominan harus berada pada batas toleransi 5%. Kelima, standar deviasi dari nilai-nilai frekuensi harus lebih kecil dari batas nilai *threshold* untuk $\varepsilon(f_0)$. Keenam, standar deviasi dari nilai-nilai amplitudo HVSR sebagai fungsi frekuensi $A(f_0)$ harus lebih kecil dari batas nilai *threshold* untuk $\theta(f_0)$. Nilai *threshold* ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai *threshold* untuk σ_f dan σ_A

<i>Frequency range</i> [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.20 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ untuk $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ untuk $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

E. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 19.



Gambar 21. Diagram alir penelitian

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

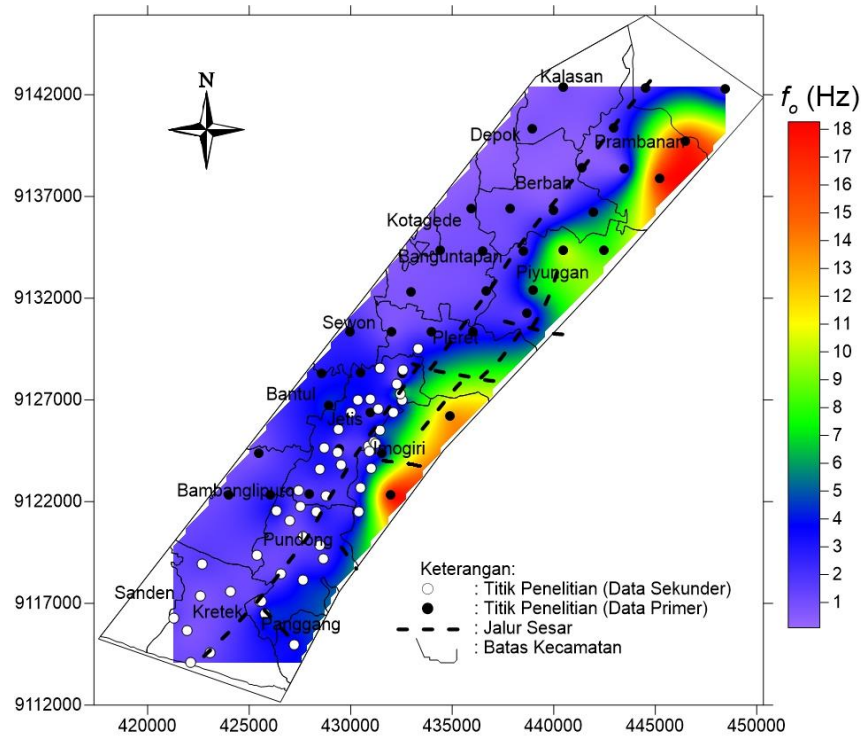
A. Frekuensi dominan, faktor amplifikasi dan ketebalan lapisan sedimen

Nakamura (1989) menyatakan bahwa metode HVSR memperlihatkan hubungan antara struktur bawah permukaan tanah dengan rasio spektrum *Fourier* dari sinyal mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikalnya. Pengolahan data mikrotremor dengan metode HVSR menghasilkan nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi di kawasan jalur Sesar Opak. Nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi mempresentasikan karakteristik tanah di wilayah penelitian. Selanjutnya frekuensi dominan dan kecepatan gelombang geser pada kedalaman maksimum 30 m yang diperoleh melalui data USGS dapat digunakan untuk menentukan nilai ketebalan lapisan sedimen pada masing-masing titik penelitian di wilayah jalur Sesar Opak.

Frekuensi dominan (f_0) di kawasan jalur Sesar Opak diperoleh dari sumbu horizontal pada puncak kurva H/V. Secara teoritis nilai frekuensi dominan tanah merupakan cerminan kondisi fisik tanah tersebut. Tanah atau batuan lunak akan mempunyai periode getaran yang panjang dan begitu juga sebaliknya. Hal ini dikarenakan batuan lunak memiliki nilai frekuensi dominan yang relatif rendah. Sedangkan penguatan gelombang pada saat gempa bumi sangat dipengaruhi oleh ketebalan lapisan sedimen dan litologi daerah tersebut. Lapisan sedimen merupakan lapisan yang tersusun oleh pengendapan batuan sedimen di atas satu sama lain. Makin besar densitas sedimen dan ketebalan

lapisan sedimen, makin besar pula kemampuan batuan memperbesar amplitudo gelombang.

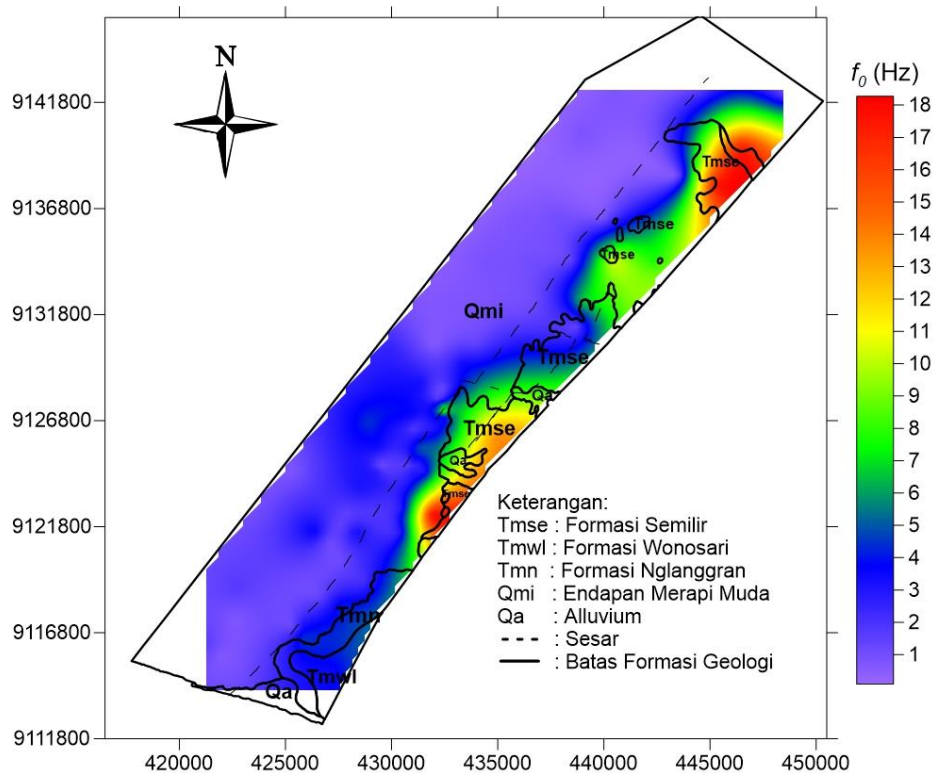
Peta pemodelan nilai frekuensi dominan di wilayah jalur Sesar Opak ditunjukkan pada Gambar 22.



Gambar 22. Peta pemodelan frekuensi dominan (f_0) di kawasan jalur Sesar Opak

Berdasarkan peta pemodelan frekuensi dominan (f_0) yang ditunjukkan pada Gambar 22, nilai yang diperoleh cukup bervariasi dengan nilai kisaran antara 0,56 Hz sampai 18,64 Hz yang tersebar di 86 titik pengambilan data. Daerah penelitian dengan frekuensi dominan (f_0) rendah yang berkisar antara 0,56 Hz hingga 4,6 Hz berada di Kecamatan Kalasan, Berbah, Banguntapan, Kotagede dan Kretek, sebelah barat Kecamatan Banggonglipuro dan Bantul, sebelah utara Kecamatan Pleret, sebelah barat Kecamatan Piyungan dan sebelah timur

Kecamatan Jetis. Daerah penelitian yang memiliki frekuensi dominan (f_0) relatif tinggi yaitu antara nilai 5,24 Hz hingga 18,64 Hz cenderung menyebar di wilayah sebelah timur jalur Sesar Opak yakni daerah Piyungan bagian utara, Pleret bagian selatan, bagian timur wilayah Imogiri dan Kecamatan Prambanan.



Gambar 23. Peta pemodelan frekuensi dominan (f_0) dioverlay dengan formasi geologi dikawasan jalur Sesar Opak

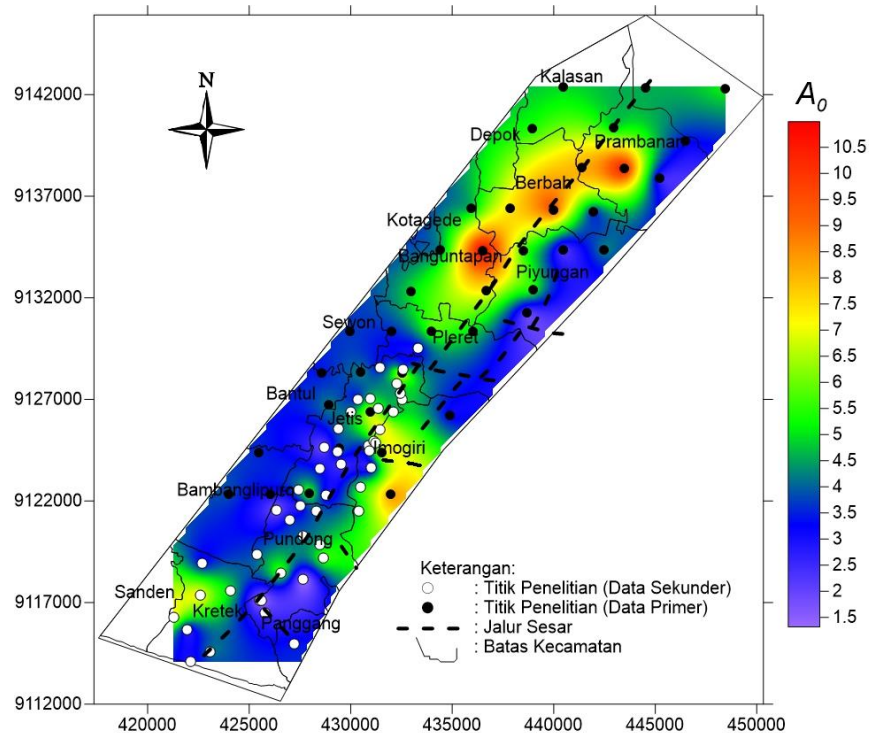
Berdasarkan *overlay* data dengan peta geologi Yogyakarta seperti yang ditunjukkan pada Gambar 23, daerah yang memiliki frekuensi dominan rendah berada di daerah dengan formasi endapan vulkanik Gunung Merapi muda dengan penyusun tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan serta terdapat sedikit endapan alluvium yang sebagian besar berupa tanah lunak yang cenderung mengalami penguatan guncangan yang tinggi. Daerah dengan frekuensi dominan tinggi berada dalam Formasi Nglanggran, Formasi Semilir

dan alluvium yang tergolong tanah keras dengan resiko mengalami penguatan guncangan yang kecil. Frekuensi dominan yang tinggi menunjukkan bahwa material penyusunnya berupa tanah keras yang memiliki densitas (rapat massa) tinggi maka inersia besar, sehingga tanah susah digerakkan menyebabkan amplitudo kecil sehingga penguatan guncangannya kecil.

Selain menunjukkan nilai frekuensi dominan (f_0) suatu wilayah penelitian, pengolahan data mikrotremor dengan metode HVSR juga memberikan informasi mengenai nilai faktor amplifikasi (A_0) di kawasan jalur Sesar Opak yang diperoleh dari sumbu vertikal pada puncak kurva H/V. Nilai amplifikasi dipengaruhi oleh variasi formasi geologi, ketebalan dan sifat-sifat fisika lapisan tanah dan batuan, kedalaman *bedrock* dan permukaan air bawah tanah dan permukaan struktur bawah permukaan. Faktor amplifikasi menggambarkan besarnya penguatan gelombang pada saat melalui suatu medium (Oliveira *et. al.*, (2006) dalam Kusumaputra, 2012).

Daya penguatan guncangan tanah (amplifikasi) adalah respon lapisan batuan (lapisan permukaan) terhadap gelombang gempabumi. Nilai amplifikasi sangat dipengaruhi oleh kondisi geologi daerah tersebut. Nilai amplifikasi gelombang pada saat melalui suatu medium berbanding lurus dengan perbandingan antara spektral horizontal terhadap vertikal. Selain itu nilai faktor amplifikasi dipengaruhi oleh nilai kecepatan gelombang geser pada tubuh tanah dari permukaan sampai kedalaman 30 meter (V_{s30}). Nilai V_{s30} inilah yang memiliki kaitan erat dengan densitas batuan (tanah lunak atau keras) dan secara tidak langsung berkaitan pula dengan nilai amplifikasi tanah (Nurrahmi, dkk.,

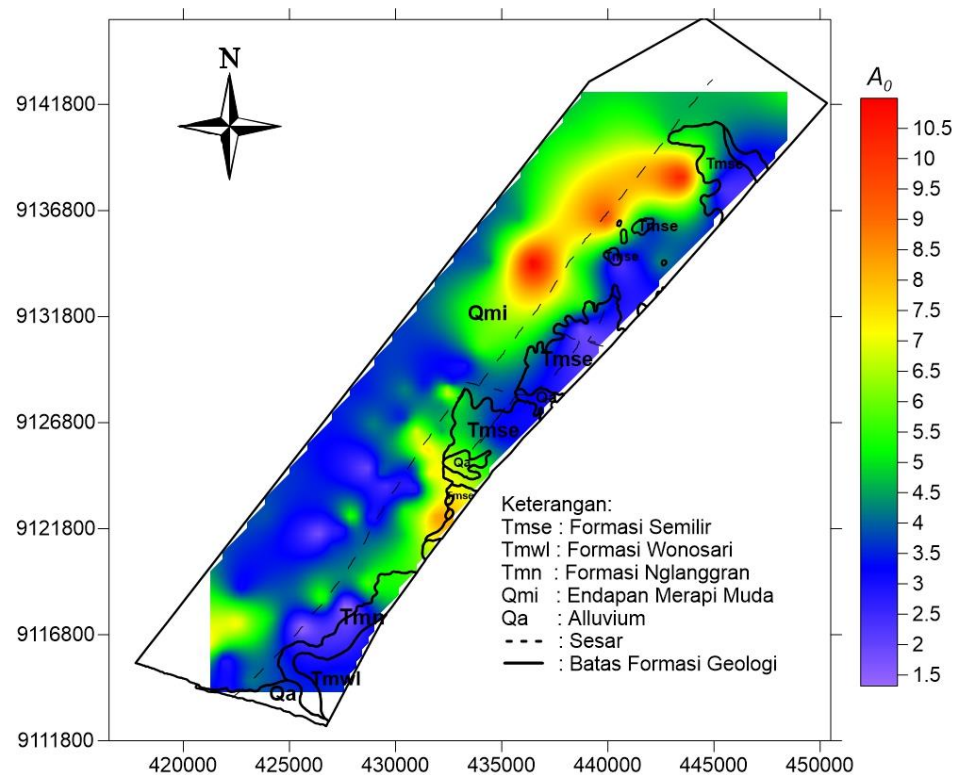
2015). Peta pemodelan nilai faktor amplifikasi di wilayah jalur Sesar Opak ditunjukkan pada Gambar 24.



Gambar 24. Peta pemodelan faktor amplifikasi (A_0) di kawasan jalur Sesar Opak

Nilai faktor amplifikasi pada daerah penelitian memiliki kisaran antara 0,985 sampai 11,35. Wilayah yang memiliki nilai amplifikasi relatif rendah dengan nilai 0,985 sampai 2,937 meliputi Kecamatan Prambanan sebelah tenggara, Berbah dan Piyungan, Pleret bagian tenggara dan barat, kecamatan Imogiri bagian timur laut, kecamatan Bambanglipuro bagian timur, Jetis bagian selatan, Pundong, Bantul, dan Kretek. Daerah dengan nilai 3,069 sampai 5,876 yang merupakan nilai faktor amplifikasi sedang tersebar di wilayah Kecamatan Kalasan, Depok, Kotagede, Berbah, Imogiri, Pundong, Kretek, Kecamatan Jetis bagian utara, Kecamatan Sewon bagian barat, Piyungan dan Bambanglipuro. Wilayah dengan nilai 7,065 sampai 8,5 yang merupakan nilai faktor amplifikasi

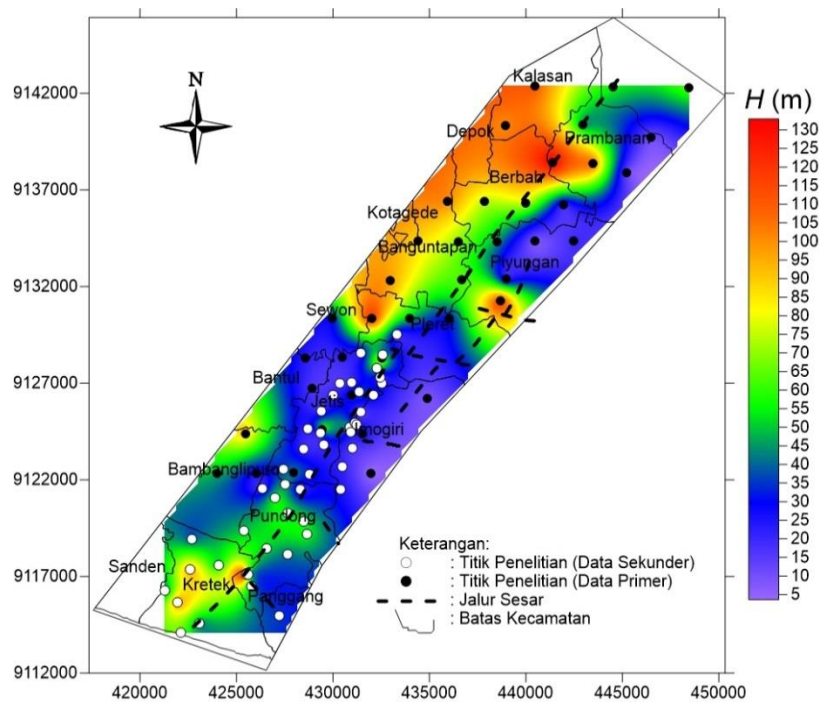
tinggi tersebar di Kecamatan Imogiri, sebagian kecil Kecamatan Jetis bagian utara, Kecamatan Berbah bagian selatan dan Banguntapan, sedangkan wilayah dengan nilai 9,551 sampai 11,35 yang merupakan nilai faktor amplifikasi sangat tinggi terdapat di wilayah Prambanan bagian barat, sebagian wilayah Berbah dan Banguntapan bagian timur laut.



Gambar 25. Peta pemodelan faktor amplifikasi (A_0) yang dioverlay dengan formasi geologi di kawasan jalur Sesar Opak

Berdasarkan *overlay* data dengan peta geologi daerah penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 25, daerah yang memiliki faktor amplifikasi relatif tinggi terdapat di wilayah sebelah barat jalur Sesar Opak atau berada di formasi endapan Gunung Merapi muda, sedikit Formasi Nglanggran dan alluvium. Pada wilayah tersebut karakter tanah cenderung lunak sehingga gelombang gempa bumi yang melewati daerah tersebut cenderung mengalami penguatan gelombang

yang lebih besar. Sedangkan daerah yang memiliki faktor amplifikasi relatif rendah berada di wilayah Formasi Semilir, Formasi Nglanggran, alluvium dan sedikit Formasi Endapan Gunung Merapi Muda yang sebagian besar didominasi oleh material breksi. Gelombang gempabumi yang melewati wilayah tersebut cenderung mengalami penguatan guncangan yang cenderung kecil.

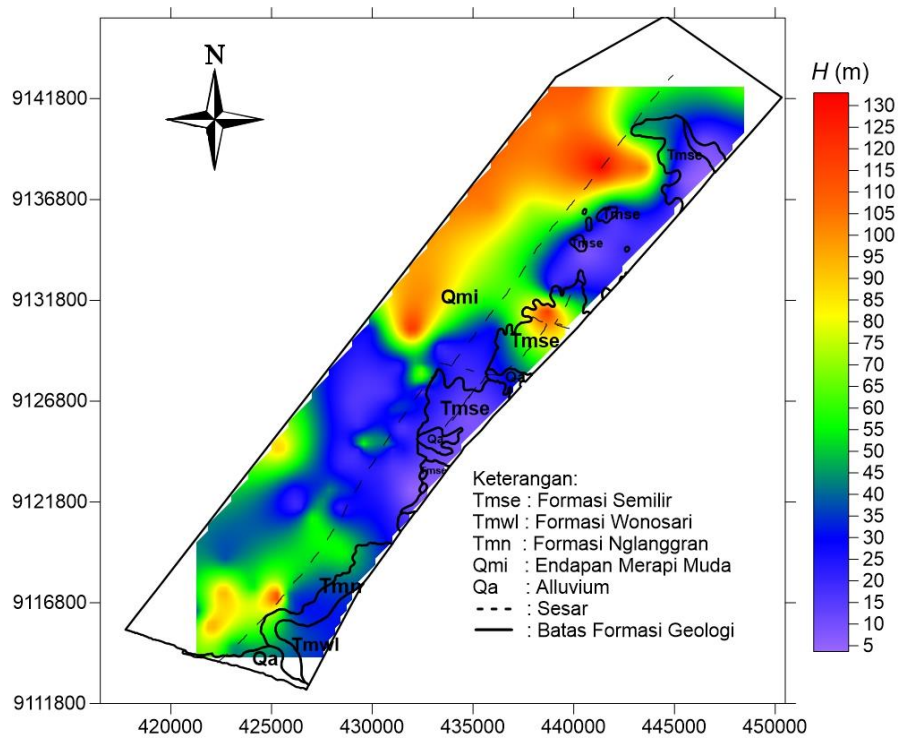


Gambar 26. Peta pemodelan ketebalan lapisan sedimen (H) di jalur Sesar Opak

Ketebalan sedimen merupakan salah satu faktor penyebab adanya pengaruh geologi lokal saat terjadi gempa bumi. Nilai ketebalan sedimen mempengaruhi nilai frekuensi dominan, semakin kecil nilai frekuensi dominan menunjukkan semakin dalam ketebalan lapisan sedimennya. Tebal tipisnya lapisan sedimen berdampak pada penguatan guncangan saat terjadi gempabumi. Pada batuan yang sama, lapisan sedimen dengan ketebalan kurang dari 10 m cenderung memiliki nilai amplifikasi tanah lebih kecil dibanding

wilayah dengan lapisan sedimen yang lebih tebal. Ketebalan lapisan sedimen di suatu wilayah memicu terjadinya resonansi gelombang gempabumi, sehingga menimbulkan faktor amplifikasi.

Berdasarkan peta pemodelan ketebalan sedimen yang terlihat pada Gambar 23, nilai ketebalan sedimen pada lokasi penelitian berada di kisaran 3,7 m sampai 135,37 m. Ketebalan sedimen memiliki nilai bervariasi yang sangat dipengaruhi oleh frekuensi dominan dan kecepatan gelombang geser pada kedalaman maksimum 30 m. Wilayah yang memiliki nilai ketebalan sedimen relatif tebal yakni 73,75 m sampai dengan 135,37 m berada di sebelah barat jalur Sesar Opak bagian utara di wilayah Kalasan, Depok, Berbah bagian barat dan utara, Prambanan bagian barat, Piyungan bagian barat daya, Banguntapan dan Kotagede, Pleret bagian barat dan sebagian kecil Pleret bagian timur serta beberapa daerah lain yakni wilayah Kretek dan Pundong. Pemodelan ketebalan lapisan sedimen yang *dioverlay* dengan formasi geologi ditunjukkan pada Gambar 27.



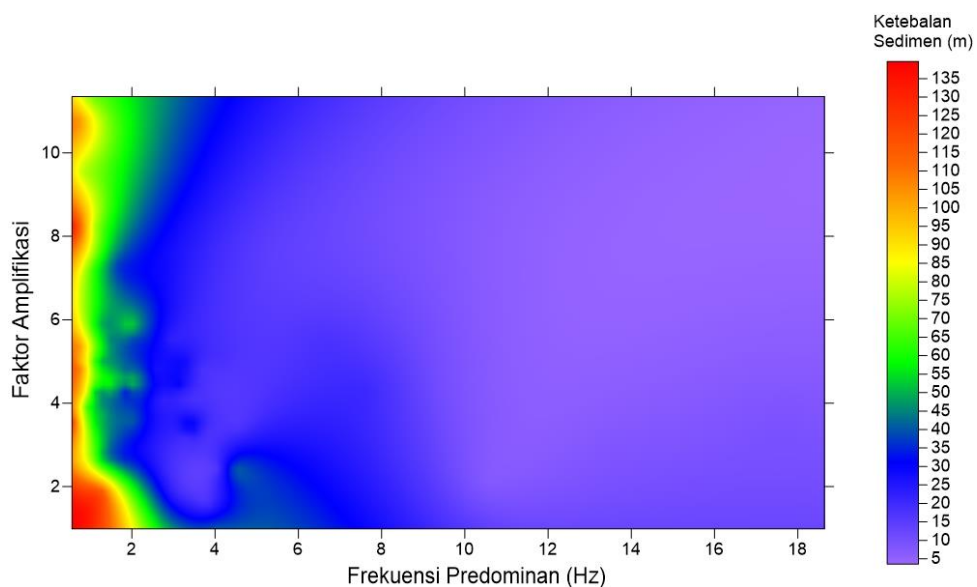
Gambar 27. Peta pemodelan ketebalan lapisan sedimen (H) yang dioverlay dengan formasi geologi di kawasan jalur Sesar Opak

Ketebalan lapisan sedimen dapat memperbesar amplifikasi, karena material sedimen yang semakin dalam struktur tanahnya semakin lunak yang mengakibatkan penguatan gelombang gempa semakin besar sehingga meningkatkan resiko kerusakan akibat gempabumi. Secara geologis lokasi tersebut berada di wilayah dengan formasi endapan vulkanik Gunung Merapi muda yang sebagian besar berupa tanah lunak sehingga gelombang gempabumi yang melewati wilayah tersebut mengalami penguatan atau teramplifikasi.

Wilayah lain seperti Jetis, Imogiri, Panggang, Bambanglipuro, sebagian daerah Sewon, Piyungan bagian utara dan Prambanan bagian selatan cenderung memiliki ketebalan sedimen yang lebih tipis antara 3,7 m sampai 69,3 m. Wilayah tersebut berada di wilayah endapan vulkanik Gunung Merapi muda, Formasi Nglanggran dan Formasi Semilir. Dalam formasi tersebut sebagian besar

materialnya terdiri dari material yang memiliki densitas tinggi sehingga gelombang gempabumi teramplifikasi lebih rendah. Oleh karena itu wilayah yang berada di sedimen dangkal atau tipis cenderung lebih aman dengan resiko kerusakan relatif kecil.

Hubungan frekuensi dominan dan faktor amplifikasi terhadap ketebalan sedimen dapat dianalisis menggunakan pemodelan profil penampang hubungan ketiga variabel yang disajikan dalam Gambar 28. Gambar 28 menunjukkan bahwa ketika frekuensi dominan rendah dan faktor amplifikasi tinggi, maka nilai ketebalan sedimen cenderung besar. Ketika nilai frekuensi dominan tinggi dan faktor amplifikasi bernilai kecil, ketebalan sedimen wilayah tersebut cenderung tipis. Hal ini sesuai dengan hasil analisis regresi linier berganda yang menyebutkan bahwa frekuensi dominan dan ketebalan sedimen memiliki hubungan negatif serta faktor amplifikasi dan ketebalan sedimen memiliki hubungan positif.

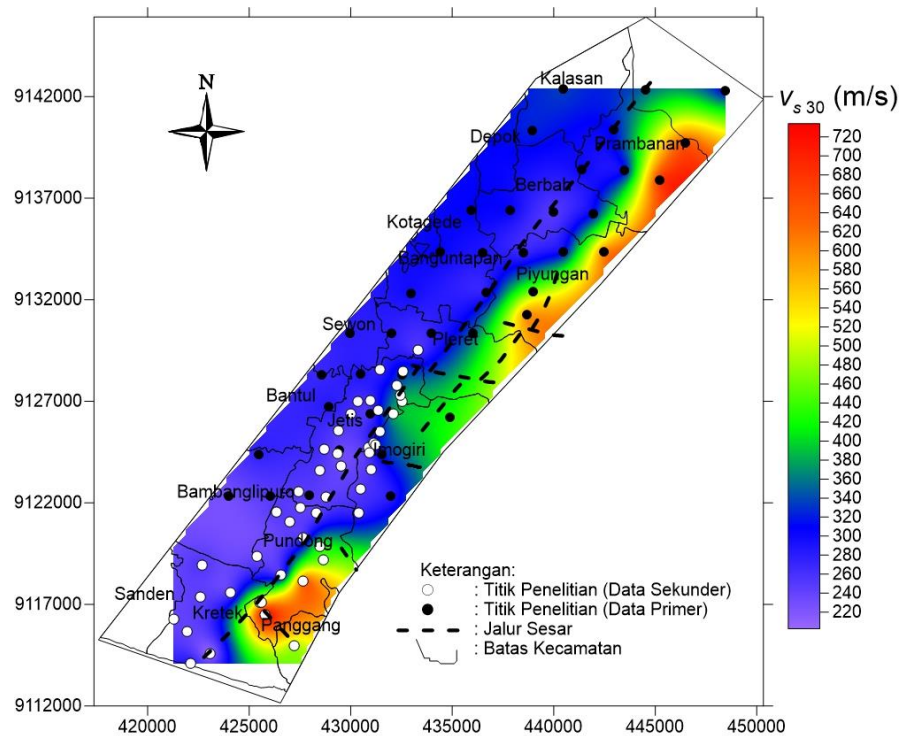


Gambar 28. Peta pemodelan pengaruh nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi terhadap nilai ketebalan sedimen

B. Litologi lapisan sedimen dan struktur geologi di kawasan jalur Sesar Opak

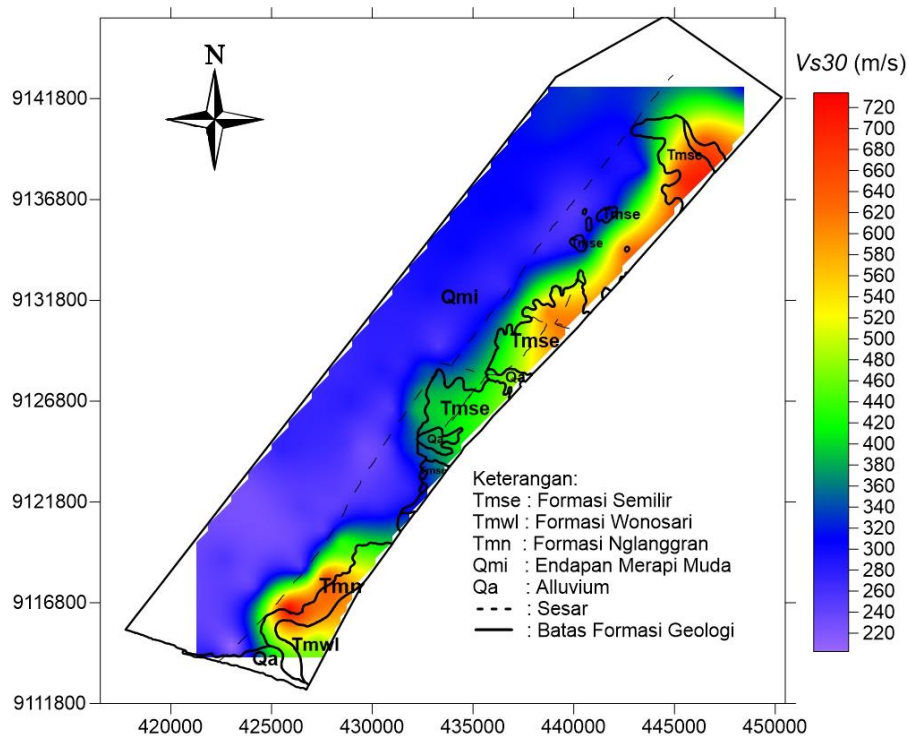
Wilayah penelitian merupakan wilayah jalur Sesar Opak yang melewati daerah Parangtritis hingga Prambanan. Secara geologi kawasan ini umumnya tersusun atas batuan dari Formasi Nglanggran, yang terdiri dari breksi gunungapi, breksi aliran konglomerat, lava dan tuf; Formasi Semilir yang tersusun oleh perselingan antara breksi-tuf, breksi batuapung, tuf dasit dan tuf andesit serta batu lempung tufan; endapan gunungapi Merapi muda dengan penyusun tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan; alluvium dengan penyusun kerakal, pasir, lanau dan lempung.

Kondisi geologi daerah penelitian dikomparasi dengan data kecepatan gelombang geser pada kedalaman maksimal 30 m (V_s30) yang diperoleh dari *website* resmi USGS. V_s30 merupakan parameter teknik geologi yang sangat berguna untuk analisa gelombang seismik. Sifat batuan dan kuat geser tanah dapat diketahui dengan mengukur kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m. Menurut Roser dan Gosar (2010) dalam Nurrahmi (2015) nilai V_s30 dapat digunakan untuk menentukan klasifikasi batuan berdasarkan kekuatan getaran gempabumi akibat efek lokal. Wangsadinata (2006) dalam Nurrahmi (2015) berpendapat bahwa hanya lapisan-lapisan batuan hingga kedalaman 30 m saja yang menentukan pembesaran gelombang gempa.



Gambar 29. Peta pemodelan kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 m (V_{s30}) di jalur Sesar Opak

Gambar 29 menunjukkan bahwa V_{s30} di wilayah penelitian berada pada kisaran 200 m/s sampai dengan 720 m/s. Wilayah dengan nilai V_{s30} cenderung besar berada di sebelah timur jalur Sesar Opak yakni daerah Prambanan, Piyungan, Pleret dan Pundong dengan nilai kisaran lebih dari 360 m/s. Berdasarkan klasifikasi *Eurocode 8* daerah tersebut dideskripsikan sebagai daerah dengan profil stratigrafi *gravel*, endapan *sand* atau *clay* sangat padat yang berada pada ketebalan beberapa puluh meter dan biasanya ditandai dengan peningkatan sifat mekanik terhadap kedalaman. Sedangkan berdasarkan klasifikasi UBC daerah tersebut tergolong *very dense soil and soft rock* (tanah keras dan batuan lunak). Secara geologi wilayah tersebut terletak di wilayah Formasi Nglanggran, Formasi Semilir, endapan gunung Merapi muda dan alluvium.



Gambar 30. Peta pemodelan kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 m (V_{s30}) yang dioverlay dengan formasi geologi di kawasan jalur Sesar Opak

Wilayah yang memiliki nilai V_{s30} sebesar 180 m/s sampai dengan 360 m/s cenderung berada di wilayah sebelah barat jalur Sesar Opak. Berdasarkan klasifikasi *Eurocode 8* wilayah tersebut dideskripsikan sebagai daerah dengan profil stratigrafi endapan *sand* padat atau setengah padat yang tebal, *gravel* atau *clay* padat dengan ketebalan puluhan hingga ratusan meter, sedangkan berdasarkan klasifikasi UBC tergolong dalam tanah sedang. Sesuai dengan peta geologi Yogyakarta, daerah tersebut didominasi oleh endapan gunung Merapi muda dan alluvium seperti yang ditunjukkan pada Gambar 30.

Wilayah di sebelah timur jalur Sesar Opak dengan nilai V_{s30} tinggi cenderung memiliki karakter batuan yang lebih keras dibanding wilayah di sebelah barat jalur Sesar Opak yang memiliki nilai V_{s30} lebih kecil. Sebagaimana

diketahui bahwa getaran yang disebabkan oleh gempa bumi cenderung membesar pada tanah lunak dibandingkan pada tanah keras. Tanah lunak akan memberikan respon getaran yang lebih tinggi ketika terjadi gempa bumi. Adanya gelombang gempa bumi yang terjebak di lapisan lunak menimbulkan superposisi antar gelombang. Jika gelombang tersebut memiliki frekuensi relatif sama, maka kemungkinan terjadi resonansi gelombang gempa bumi semakin besar. Akibatnya gelombang tersebut saling menguatkan sehingga guncangan oleh gempa bumi pun semakin besar.

Gosar (2007) dalam Kusumaputra (2012) menyatakan bahwa besaran amplifikasi atau penguatan gelombang dapat diestimasi dari perbedaan impedansi, yakni perambatan gelombang (densitas dan kecepatan) antara *bedrock* dan sedimen permukaan. Semakin besar perbedaan parameter tersebut akan memperbesar nilai amplifikasi perambatan gelombangnya. Nilai amplifikasi itu sendiri dipengaruhi oleh variasi formasi geologi, ketebalan dan sifat-sifat fisika lapisan tanah dan batuan, kedalaman *bedrock* dan permukaan air bawah tanah dan struktur bawah permukaan. Struktur bawah permukaan dapat dijelaskan dengan litologi lapisan sedimen.

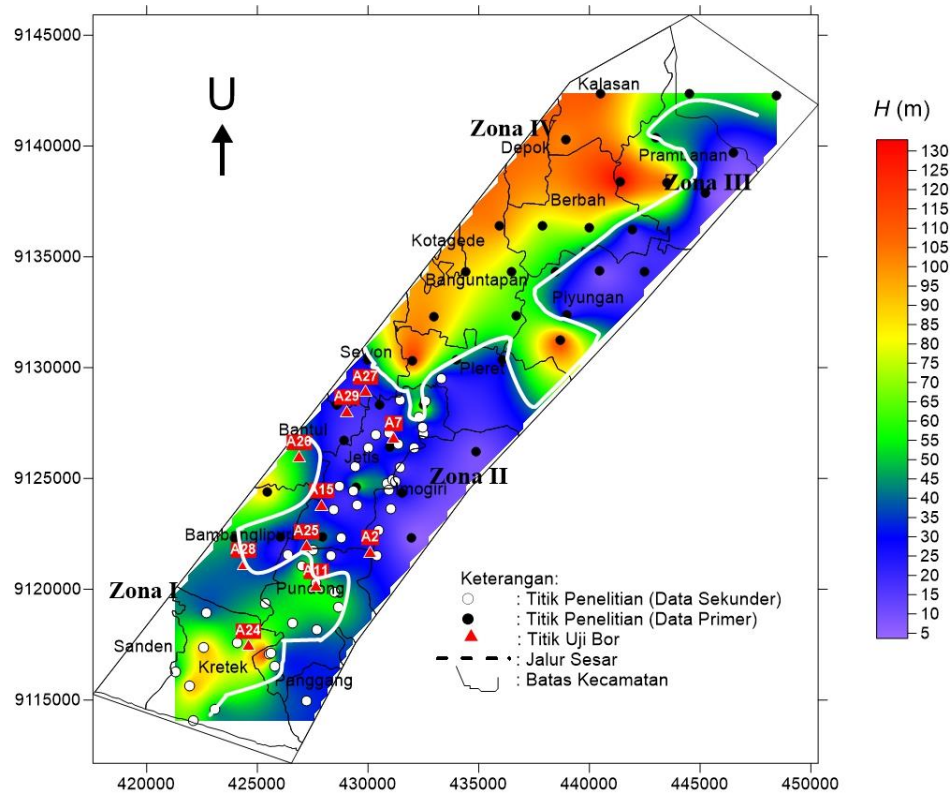
Litologi lapisan sedimen merupakan deskripsi tentang karakteristik fisik batuan seperti warna, komposisi mineral dan ukuran butirnya. Litologi lapisan sedimen di kawasan jalur Sesar Opak didapatkan dari perhitungan ketebalan sedimen yang divalidasi dengan data uji bor di wilayah penelitian. Dalam hal ini data bor yang digunakan adalah data uji bor di Kabupaten Bantul. Ketebalan sedimen yang sudah divalidasi dengan data uji bor di daerah penelitian

dikelompokkan menjadi empat zona sesuai dengan distribusi kedalaman sedimen pada wilayah tertentu yang disajikan pada Tabel 5 dan Gambar 31. Pengelompokan tersebut digunakan untuk mempermudah visualisasi litologi lapisan sedimen dan struktur tanah secara *cross-section*.

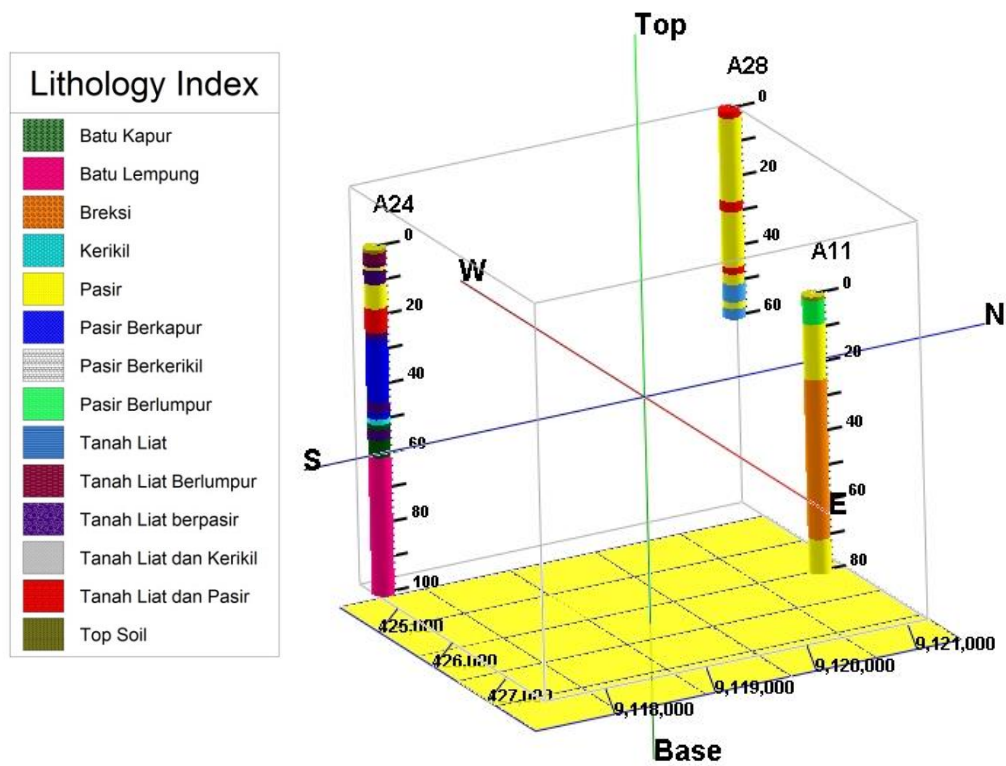
Tabel 4. Pengelompokan data ketebalan sedimen tervalidasi data bor

Zona	Jumlah Titik	Range Ketebalan Sedimen (m)	Formasi Geologi
I	18	34,9-133,58	Endapan Gunung Merapi Muda, Formasi Nglanggran dan Formasi Wonosari
II	43	3,7-90,75	Endapan Gunung Merapi Muda, Alluvium, Formasi Semilir, Formasi Nglanggran
III	8	7,03-63,46	Endapan Gunung Merapi Muda dan Formasi Semilir
IV	17	58,19-135,37	Endapan Gunung Merapi Muda dan Formasi Semilir

Pemodelan tiga dimensi litologi lapisan sedimen daerah penelitian dapat ditunjukkan pada Gambar 32 dan Gambar 33. Berdasarkan pemodelan tiga dimensi litologi lapisan sedimen nampak bahwa wilayah penelitian tersusun oleh breksi, pasir berkapur, tanah liat, tanah liat berpasir, pasir berkerikil, batu kapur, pasir, pasir berlumpur dan *top soil*. Pemodelan penampang dua dimensi litologi lapisan sedimen zona I dan zona II ditunjukkan pada Gambar 34 dan Gambar 35.



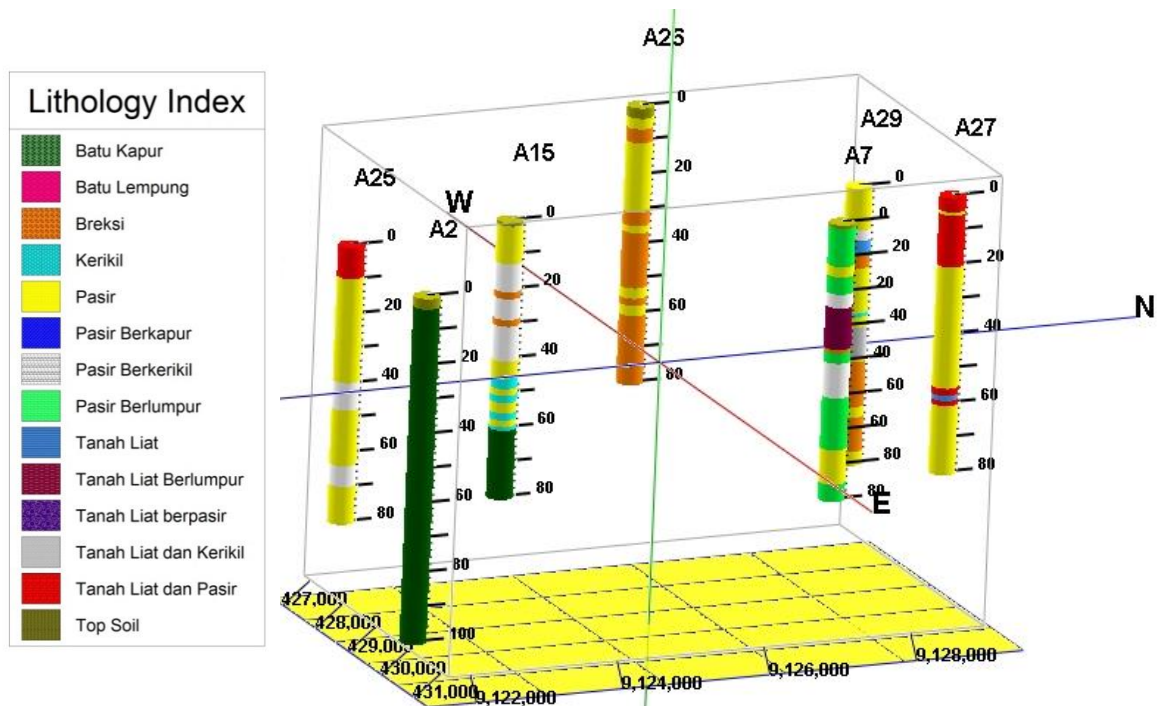
Gambar 31. Peta pembagian zona validasi data bor di jalur Sesar Opak



Gambar 32. Model penampang 3 dimensi litologi lapisan sedimen zona I

Zona I mencakup wilayah Kecamatan Kretek, sebagian wilayah Bambanglipuro dan sebagian wilayah Pundong. Pada zona tersebut terdapat 18 titik penelitian dengan nilai ketebalan sedimen bernilai 34,9 m sampai 133,58 m dan tiga sampel data uji pengeboran yang digunakan untuk validasi litologi lapisan sedimen di wilayah tersebut yakni titik uji pengeboran A24, A11 dan A28.

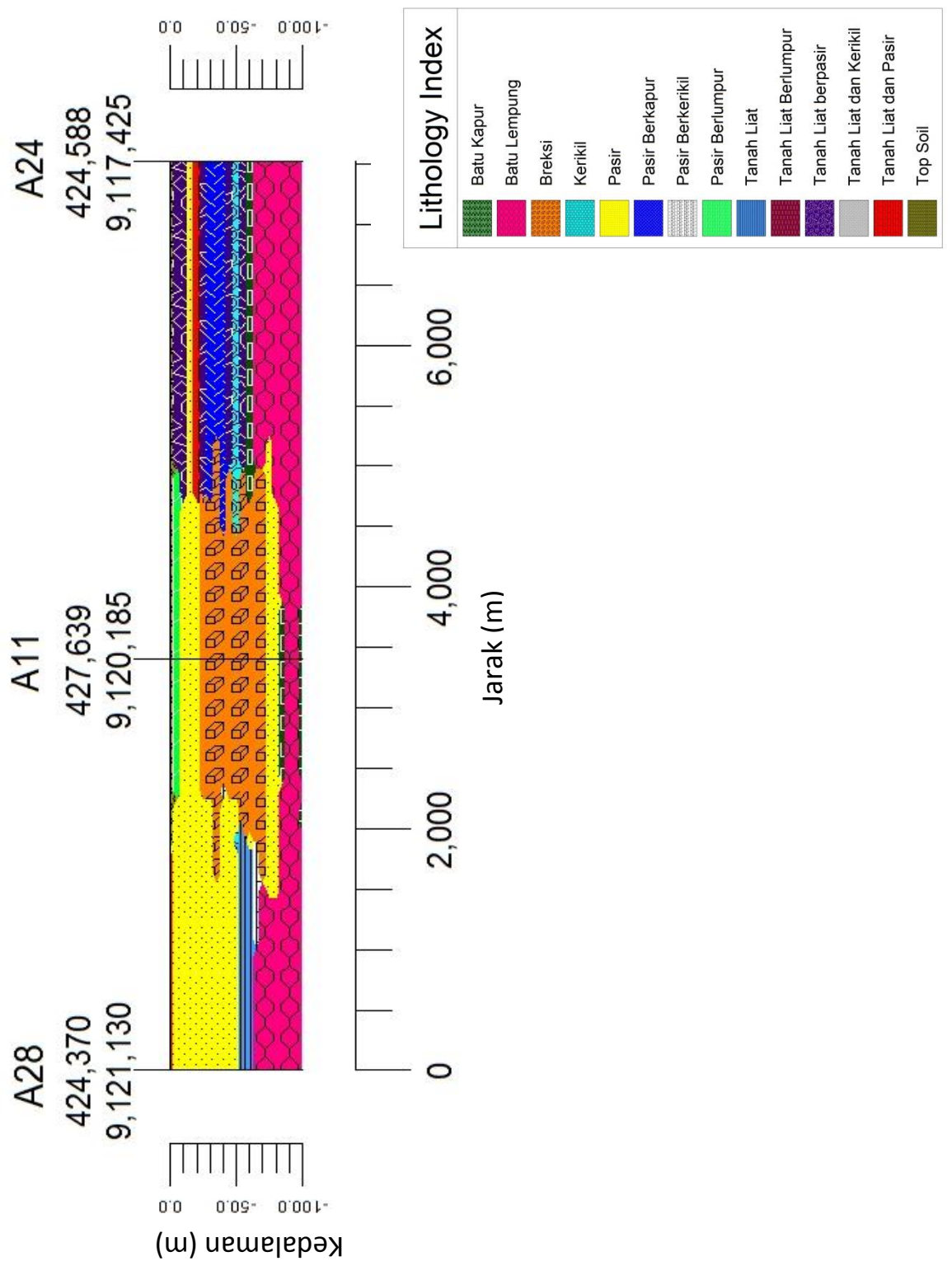
Gambar 34 menunjukkan bahwa struktur tanah di wilayah Bambanglipuro yang diwakili oleh data bor A28 didominasi oleh pasir hingga kedalaman 50 m. Lapisan di bawahnya terdapat batu dan batu lempung hingga kedalaman 100 m. Wilayah Kecamatan Pundong yang diwakili oleh data bor A11 terdiri atas lapisan *top soil*, pasir berlumpur dan pasir hingga kedalaman 30 m. Lapisan di bawahnya tersusun oleh batuan breksi hingga kedalaman 70 m dan sisanya tersusun oleh pasir dan batu kapur hingga kedalaman 100 m. Wilayah Kecamatan Kretek yang diwakili oleh data bor A24 tersusun oleh lapisan *top soil* dan beberapa pasir campuran seperti pasir berkapur, tanah liat berpasir, pasir berlumpur, pasir berkerikil serta batu kapur hingga kedalaman 60 m. Pada kedalaman 60 m sampai 100 m didominasi oleh batu lempung.



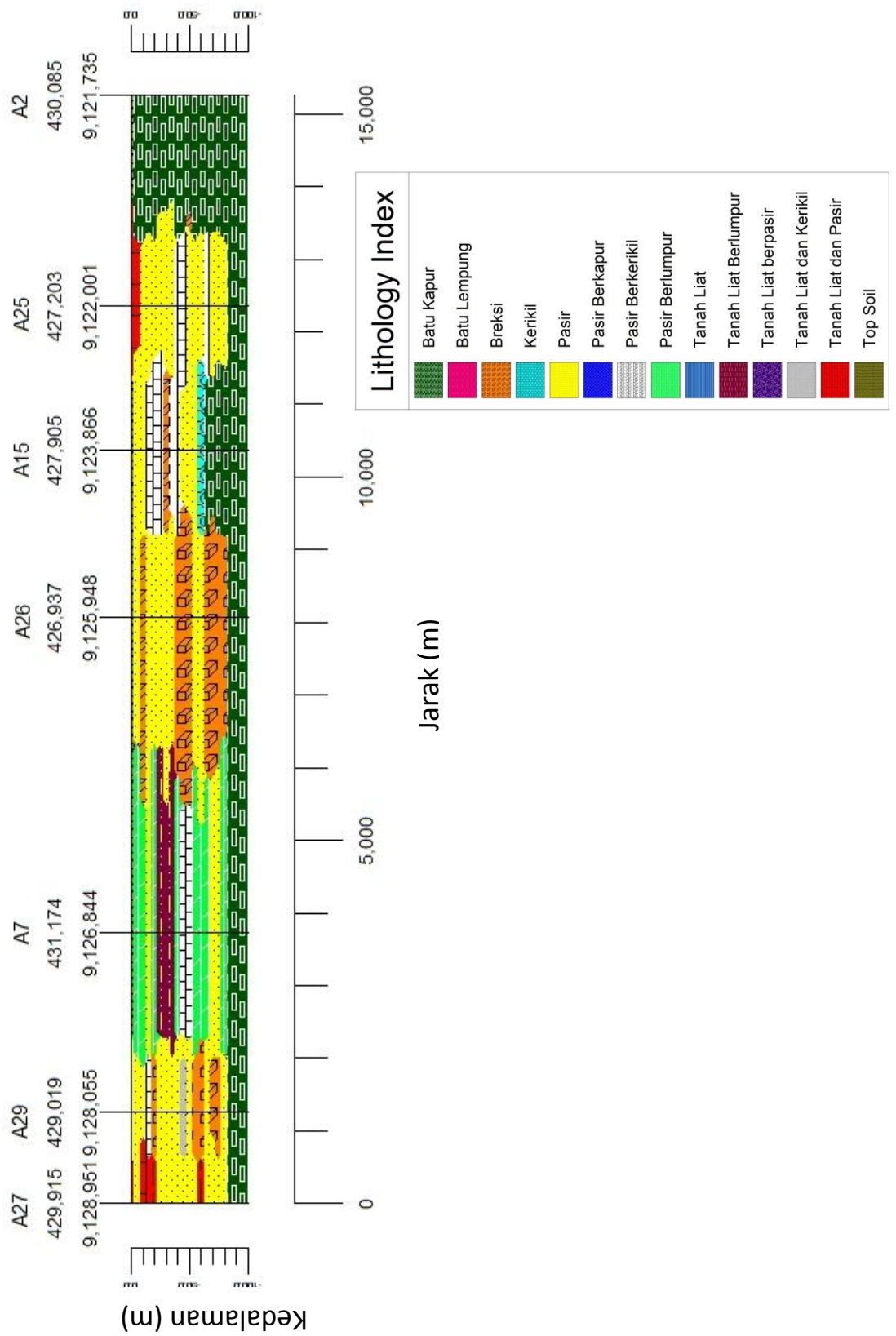
Gambar 33. Model penampang 3 dimensi litologi lapisan sedimen zona II

Zona II mencakup sebagian wilayah Sewon, Pleret, Jetis, Imogiri, Bantul dan sebagian kecil wilayah Pundong. Gambar 35 menunjukkan bahwa zona tersebut memiliki variasi litologi sedimen yang diwakili oleh data bor A27, A29, A7, A26, A15, A25, A11 dan A2. Secara keseluruhan struktur tanah di zona II pada lapisan permukaan tertutupi oleh lapisan *top soil* dengan kedalaman 1 sampai 2 meter. Lapisan di bawahnya didominasi oleh pasir baik pasir homogen maupun pasir bercampur sedimen lain seperti tanah liat berpasir, pasir berkerikil dan pasir berlumpur hingga kedalaman 70 meter meskipun ada beberapa wilayah yang disekat oleh batuan breksi di wilayah Bantul. Batuan breksi tersebut memiliki ketebalan 20-30 meter pada kedalaman 50 m sampai 80 m yang terpisahkan oleh pasir. Selain itu pada kedalaman 80 m sampai 100 m didominasi oleh batu kapur meskipun pada daerah perbatasan Imogiri, Jetis dan Pundong yang diwakili data bor A2 hampir seluruh lapisan diisi oleh batu kapur.

Sebagian besar wilayah penelitian tersusun oleh batuan sedimen sedang dan lunak sesuai dengan distribusi nilai kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 meter yakni antara 200 m/s sampai 720 m/s. Hal ini sejalan dengan validasi menggunakan data bor yang menunjukkan bahwa penyusun lapisan batuan adalah batuan sedimen lunak seperti pasir campuran, batu lempung dan batu kapur. Batuan-batuan sedimen tersebut memiliki densitas relatif kecil dibanding batuan yang lain. Hal ini akan mengakibatkan gelombang yang melewati batuan tersebut akan terjebak dan mengalami penguatan gelombang. Sebagaimana diketahui bahwa tanah lunak akan memberikan respon getaran yang lebih tinggi ketika gempa bumi terjadi dibanding tanah keras. Nilai amplifikasi yang besar akan memberikan dampak resiko kerusakan yang lebih besar pula.



Gambar 34. Model penampang 2 dimensi litologi lapisan sedimen zona I



Gambar 35. Model penampang 2 dimensi litologi lapisan sedimen zona II

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Nilai ketebalan sedimen pada lokasi penelitian berada di kisaran 3,7 m sampai 135,37 m. Wilayah yang memiliki nilai ketebalan sedimen relatif tebal yakni 73,75 m sampai dengan 135,37 m berada di sebelah barat jalur Sesar Opak bagian utara di wilayah Kalasan, Depok, Berbah bagian barat dan utara, Prambanan bagian barat, Piyungan bagian barat daya, Banguntapan dan Kotagede, Pleret bagian barat dan sebagian kecil Pleret bagian timur serta beberapa daerah lain yakni wilayah Kretek dan Pundong. Wilayah lain seperti Jetis, Imogiri, Panggang, Bambanglipuro, sebagian daerah Sewon, Piyungan bagian utara dan Prambanan bagian selatan cenderung memiliki ketebalan sedimen yang lebih tipis antara 3,7 m sampai 69,3 m. Wilayah tersebut berada di wilayah endapan vulkanik Gunung Merapi muda, formasi Nglanggran dan formasi Semilir.
2. Daerah penelitian yang memiliki resiko rawan terhadap gempa bumi berada di Zona I (Bambanglipuro, Pundong dan Kretek) dan Zona IV (Kalasan, Depok, Berbah, Kotagede, Banguntapan, dan sebagian wilayah Prambanan) dengan ketebalan lapisan sedimen yang tebal (73,75 m sampai 135,37 m). Sedangkan daerah yang memiliki resiko rawan gempa bumi relatif lebih kecil berada di

Zona II (Imogiri, Jetis dan sebagian daerah Pleret) dan Zona III (Sebagian daerah Prambanan dan Piyungan) dengan ketebalan lapisan sedimen tipis (3,7 m sampai 69,3 m).

B. SARAN

Untuk penelitian selanjutnya disarankan agar pengambilan titik pengukuran lebih banyak di sekitar jalur sesar Opak wilayah Kabupaten Sleman dan mencari data bor yang berada di wilayah tersebut supaya struktur litologi lapisan sedimen yang dihasilkan lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z., dkk. 2009. *Deformasi Koseismik dan Pascaseismik Gempa Yogyakarta 2006 dari Hasil Survei GPS*. Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 4 No. 4 hal. 275-284
- Alim, J. M. 1988. *Fisika Lingkungan*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan
- Anomim. 2011. *Volcanism*. Diakses dari http://www.goes-r.gov/users/_comet/volcanic_ash/volcanism_es/print.htm pada tanggal 2 Juli 2016 pukul 12.00 WIB
- Arifti, F. W. 2014. *Identifikasi Potensi Bahaya Seismik Berdasarkan Faktor Amplifikasi Tanah Dan Ketebalan Sedimen Menggunakan Mikrotremor di Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur*. Skripsi. Yogyakarta: UIN Sunan Kalijaga
- Beauval, C. et al. 2003. *Quantification of Frequency-Dependent Lengthening of Seismic Ground-Motion Duration due to Local Geology: Applications to the Volvi Area (Greece)*. Bulletin of Seismological Society of America, Vol. 93 No. 1, pp 371-385.
- Carlson, dkk. 2011. *Physical geology: Earth Revealed, Ninth Edition*. New York: McGraw-Hill
- Daryono, dkk. 2009. *Efek Tapak Lokal di Graben Bantul berdasarkan Pengukuran Mikrotremor*. Yogyakarta: International Conference Earth Science and Technology
- Daryono. 2010. *Aktivitas Gempabumi Tektonik di Yogyakarta Menjelang Erupsi Merapi 2010*. Yogyakarta: BMKG
- Daryono. 2011. *Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Mikrotremor Pada Setiap Satuan Bentuk Lahan Di Zona Graben Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta*. Disertasi, Fakultas Geografi: Universitas Gadjah Mada.
- Elnashai, A. S., & Sarno, L. D. 2008. *Fundamentals of Earthquake Engineering*. UK: John Wiley & Son
- Fathonah, I. M., dkk. 2014. *Identifikasi Jalur Sesar Opak Berdasarkan Analisis Data Anomali Medan Magnet dan Geologi Regional Yogyakarta*. Indonesian Journal of Applied Physics Vol. 4 No. 2 hal 192
- Gunawan, A dan Khadiyanto, P. 2012. *Kajian Aspek Bentuk Lahan dan Geologi Berdasarkan Mikrotremor dalam Perencanaan Ruang Kawasan Rawan Gempa di Kabupaten Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta (Studi Kasus: Kecamatan Bantul, Jetis, Imogiri, dan Kretek)*. Jurnal Biro Penerbit Planologi Undip Volume 8 (2): 178-190

- Hall, R. 2002. *Cenozoic Geological and Plate Tectonic Evolution of Southeast Asia and the Southwest Pacific : Computer Based Constructions, Model and Animations*. Journal of Asian Earth Science 20 (2002), pp 353 - 431.
- Hasmar, A. H. 2013. *Dinamika Tanah dan Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta: UII Press
- Ibrahim, G. dan Subardjo. 2005. *Pengetahuan Seismologi*. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- Judefriani. 2013. *Litologi Batuan Akuifer*. Universitas Sriwijaya Indralaya: Fakultas Pertambangan
- Kayal, J. R. 2008. *Microearthquake Seismology And Seismotectonics Of South Asia*. New York: Springer.
- Kertapati, E. K. 2004. *Aktivitas Gempabumi Di Indonesia*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Konno, K & Ohmachi, T. 1998. *Ground-Motion Characteristic Estimated from Spectral Ratio between Horizontal and Vertical Components of Microtremor*. Jurnal: Bulletin of the Seismological Society of America Vol 88.
- Kusumaputra, T. M. 2012. *Amplifikasi*. Diakses dari <https://poetrafic.wordpress.com/2012/03/30/amplifikasi/> pada tanggal 2 Juli 2016 pukul 12.00 WIB
- Kusumawati, N. 2014. *Analisis Struktur Lapisan Tanah Berdasarkan Ketebalan Sedimen Dan Identifikasi Resiko Gempabumi Di Kabupaten Kulon Progo Menggunakan Mikrotremor*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Labertta, S. (2013). *Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Analisis Mikrotremor Di Kecamatan Jetis Kabupaten Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta*. Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA Hal. F169-F174
- Lange, M., dkk. 1991. *Geologi Umum*. Jakarta: Gaya Media Pratama
- Marsyelina, M. 2014. *Karakteristik Mikrotremor dan Analisis Seismisitas pada Jalur Sesar Opak, Kabupaten Bantul, Yogyakarta*. Jurnal Sains Dasar Vol. 3 No. 1 Hal 95-101
- Martasari, S. F. 2013. *Analisis Struktur Lapisan Tanah Berdasarkan Ketebalan Sedimen Menggunakan Mikrotremor Dengan Metode Horizontal To Vertical Spectral Ratio*. Skripsi. Yogyakarta: UIN Sunan Kalijaga
- Massinai, M. A. 2015. *Geomorfologi Tektonik*. Yogyakarta: Pustaka Ilmu
- Mirzaoglu, M & Dykmen, U. 2003. *Application of Microtremors to Seismic Microzonning Procedure*. Jurnal of The Balkan Geophysical Society Vol 6.

- Mufida, A., dkk. 2013. *Profiling Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Surabaya Berdasarkan Pengolahan Data Mikrotremor*. Jurnal Sains dan Seni Pomits Vol. 2 No. 2 Hal B76-B81
- Nakamura, Y. 1989. *A Methode For Dynamic Characteristics Estimation Of Subsurface Using Microtremor On The Ground Surface*. Jurnal, Railway Technical Research Institute
- Nakamura, Y. 2000. *Clear Identification Of Fundamental Idea Of Nakamura's Technique And Its Applications*. Japan: System and data research
- Nakamura, Y. 2008. *On the H/V Spectrum*. China: The 14th World Conference On Earthquake Engineering
- Natawidjaja, D. 2008. *Pedoman Analisis dan Bahaya dan Risiko Bencana Gempabumi. Indonesia: Badan Nasional Penanggulangan Bencana*.
- Ngatmanto, D., dkk. 2013. *Efek Tapak Lokal Pada Daerah Kerusakan Akibat Gempabumi Bogor 9 September 2012*. Jurnal Meteorologi Dan Geofisika Vol. 14 No. 3
- Novianita, A. (2009). *Penggunaan Microtremor Ellipticity Curve Untuk Menentukan Struktur Lapisan Bawah Permukaan Di Daerah Yogyakarta*. Skripsi. Jurusan Fisika: Universitas Diponegoro
- Nurhanafi, K. 2015. *Karakteristik Mikrotremor Di Permukaan Sungai Bawah Tanah Bribing, Kawasan Karst Gunung Sewu, Berdasarkan Analisis Spectrum, Horizontal To Vertical Spectral Ratio (HVSr), Dan Time Frequency Analysis (TFA)*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta
- Nurrahmi, dkk. 2015. *Analisis Kecepatan Gelombang Geser Vs30 Menggunakan Metode Refraksi Mikrotremor (Remi) di Kelurahan Talise*. Jurnal Gravitasi Vol.14 No.1
- Nurwidyanto, dkk. 2010. *Pemetaan Sesar Opak Dengan Metode Gravity (Studi Kasus Daerah Parangtritis Dan Sekitarnya)*. Prosiding Pertemuan Ilmiah XXIV HFI Jateng & DIY, hal 77-83
- Park, T. H. 2010. *Introduction to Digital Signal Processing, Computer Musically Speaking*. Singapore: World Scientific Publishing
- Parwatiningyas, D. 2008. *Perbandingan Karakteristik Lapisan bawah Permukaan Berdasarkan Analisis Gelombang Mikrotremor dan Data Bor*. Universitas Indraprasta PGRI
- Pettijohn F. J. 1975. *Sedimentary Rocks*: Harper & Row Publishers, New York-Evanston-San Fransisco-London

- Priyatno, D. 2011. *Analisis Regresi Linier Berganda*. Diakses dari <http://duwiconsultant.blogspot.co.id/2011/11/analisis-regresi-linier-berganda.html> pada tanggal 2 Januari 2017 pukul 13.00 WIB
- Pujianto, A. 2009. *Pengaruh Lapisan Pasir di Bawah Fondasi Terhadap Redaman dan Frekuensi Natural Akibat Beban Gempa*. Jurnal Ilmiah Semesta Teknik Vol.12 No.1
- Qaryouti, M.Y. & Tarazi, E. 2007. *Local Site Effect Estimated from Ambient Vibration Measurement at Aqaba City*. Jordan: Journal of Earthquake Engineering
- Radiana, S. G. 2011. *Discreate Fourier Transform Menjadi fast Fourier Transform*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Elektro UGM
- Raharjo, W et a.al. 1995. *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Refrizon, dkk. 2013. *Analisis Percepatan Getaran Tanah Maksimum dan Tingkat Kerentanan Seismik Daerah Ratu Agung Kota Bengkulu*. Bengkulu: FMIPA
- Risqi, 2013. *Batuan Sedimen*. Diakses dari <http://rizqigeos.blogspot.co.id/2013/05/batuan-sedimen.html>. Diakses pada tanggal 2 Juli 2016 pukul 10.00 WIB
- Riyanto, S, dkk. 2009. *Algoritma Fast Fourier Transform (FFT) Decimation In Time (DIT) Dengan Resolusi 1/10 Hertz*. Prosiding Seminar Nasional Penelitian. Hal. F223-F231
- Rochmah, L. N. dkk., 2015. *Studi Percepatan Getaran Tanah Maksimum Dengan Metode Tong & Katayama (1988) Dan Indeks Kerentanan Seismik Di Dusun Patuk Kabupaten Gunung Kidul*. Jurnal Pendidikan Matematika dan Sains
- Satriawan, M. 2007. *Kuliah Fisika Dasar Teknik Sipil 2007: Getaran dan Gelombang*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada
- Seed, H. B. and Schnabel, P. B., 1972. *Soil and Geological Effects on Site Response During Earthquakes. Proc. of First International Conf. on Microzonation for Safer Construction – Research and Application*, vol. I, pp 61-74.
- SESAME. 2004. *Guidelines For The Implementation Of The H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations*. Europe: SESAME European research project.
- Setya Graha, D. 1987. *Batuan dan Mineral*. Bandung: Penerbit Nova
- Soetoto. 2013. *Geologi Dasar*. Yogyakarta: Penerbit Ombak

- Stein, S & Wysession, M. 2003. *An Introduction to Seismology, earthquake, and earth structure*. USA: Blackwell Publishing.
- Sub Bidang Mitigasi Gempabumi (2010). *Katalog Gempabumi Signifikan Dan Merusak 182/2009*. BMKG
- Sumarta, V. A. 2014. *Identifikasi Resiko Bahaya Seismik Pada Bendungan Sermo Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor*. Skripsi. Yogyakarta: UIN Sunan Kalijaga
- Sunardi, B., dkk. 2012. *Kajian Potensi Bahaya Gempabumi Daerah Sumbawa Berdasarkan Efek Tapak Lokal*. Jurnal Meteorologi Dan Geofisika Vol. 13 No 2 Hal. 131-137
- Sunarko & Suntoko, H. 2011. *Survei Mikrotremor di Pulau Belitung untuk Kajian Tapak PLN*. Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir IV
- Sungkono dan Santosa, B. J. 2011. *Karakteristik Kurva Horizontal To Vertical Spectral ratio: Kajian Literatur dan Permodelan*. Jurnal Neutrino Vol. 4 No. 1
- Supartoyo, dkk. 2008. *Bencana Gempabumi di Indonesia Tahun 2008*. Bulletin Vulkanologi dan Bencana Geologi Vol. 4 No. I
- Supramono, E., dkk. 2003. *Common Text Book Fisika Dasar II*. Malang: JICA
- Tipler, P. A. 1998. *Fisika Untuk Sains dan Teknik*. Jakarta: Erlangga
- Tim Revisi Peta Gempa Indonesia. 2010. *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010*. Bandung: Tim Revisi Peta Gempa Indonesia
- Wibowo, N. B. 2015. *Spatial Analysis of Surface Aquifer Thickness Based Frequency Predominant in Bantul District*. Indonesian Journal of Applied Physics Vol. 5 No. 1 Hal. 62

LAMPIRAN

LAMPIRAN I
DATA HASIL PENELITIAN

Data frekuensi dominan f_0 (Hz), faktor amplifikasi A_0 , kecepatan pergeseran permukaan tanah v_{s30} (m/s), dan ketebalan sedimen H (m) dari hasil penelitian.

No	ID	X (Longitude)	Y (Latitude)	v_{s30} (m/s)	f_0 (Hz)	A_0	H (m)
1	B1	110.38569	-7.890405	335.174	1.44	4.393	58.18993
2	B2	110.3878067	-7.897225	379.952	3.24	4.998	29.31728
3	B3	110.387315	-7.89452167	379.952	9.48	4.43	10.01983
4	B4	110.373665	-7.89691	263.59	3.6	4.781	18.30486
5	B5	110.3728117	-7.91769667	257.739	1.28	3.745	50.33965
6	B6	110.3605367	-7.92627667	233.256	2.84	2.283	20.5331
7	B7	110.3530617	-7.918755	260.819	3	1.794	21.73492
8	B8	110.35399	-7.93980667	243.148	1.76	2.656	34.53807
9	B9	110.3649233	-7.90300167	263.018	3.16	4.218	20.80839
10	C1	110.3839033	-7.90308167	384.242	3.12	4.415	30.78862
11	C9	110.3751967	-7.915885	305.061	4.16	5.125	18.33299
12	C10	110.3761317	-7.91657333	305.061	2.64	5.411	28.88835
13	D2	110.3509817	-7.96196333	440.699	2.04	4.5	54.00723
14	D3	110.3394033	-8.00623667	474.643	3.4	3.431	34.90022
15	D5	110.29315	-8.01398333	292.121	1.12	2.884	65.20558
16	D6	110.3112267	-7.98250333	240.345	1.2	5.011	50.07188
17	D7	110.2857517	-7.994165	240.345	1.64	7.273	36.63796
18	D8	110.2984233	-7.97033667	255.796	1.72	3.084	37.17965
19	D9	110.2975817	-7.98447667	247.383	0.64	7.349	96.63398
20	TA1	110.3241	-7.98689	534.308	1	1.281	133.577
21	TA2	110.3265	-7.99215	757.868	4.48	2.39	42.29174
22	TA3	110.3248	-7.98675	534.308	2.8	1.079	47.70607
23	TA4	110.3437	-7.97733	650.049	4	0.9855	40.62806
24	TA5	110.3526	-7.96798	440.699	1.96	5.847	56.21161
25	TA6	110.3230	-7.96637	238.781	1.2	3.881	49.74604
26	TA7	110.3338	-7.97456	248.401	1.2	5.835	51.75021
27	TA8	110.3436	-7.95797	247.381	1.12	4.049	55.21897
28	TA9	110.3376	-7.95102	250.338	1.08	3.479	57.94861
29	TA10	110.2917	-7.99984	240.345	0.6	2.58	100.1438

30	TA11	110.3021	-8.00954	194.031	1.16	4.214	41.81703
31	t-1	110.3318733	-7.94651333	250.338	3.8	1.598	16.46961
32	t-4	110.342185	-7.94447	243.148	1.32	2.691	46.05076
33	t-5	110.3414433	-7.937715	248.039	1.84	4.261	33.70095
34	t-9	110.3496	-7.94703	243.148	3.44	4.003	17.67064
35	t-11	110.3509	-7.92806	254.124	3.16	3.186	20.10475
36	t-13	110.3590	-7.92050	233.256	2.68	4.055	21.75896
37	t-19	110.3595	-7.91056	250.338	3.44	3.982	18.19317
38	t-23	110.3683	-7.94710	269.763	2.56	4.768	26.34404
39	t-24	110.3694	-7.93646	255.796	2.96	5.521	21.60439
40	t-25	110.3741	-7.92772	258.501	4.04	2.415	15.99635
41	t-26	110.3734	-7.92033	255.796	2.8	3.921	22.83893
42	t-28	110.3682	-7.89748	263.59	3.76	3.297	17.52593
43	t-34	110.3779	-7.91089	305.061	5.24	7.72	14.55444
44	t-35	110.3773	-7.90147	302.582	2.04	5.501	37.08113
45	t-37	110.3781	-7.88339	271.406	3.32	3.234	20.4372
46	t-43	110.3884	-7.88383	335.174	2	3.6	41.89675
47	t-48	110.3950	-7.87477	250.337	3.4	2.937	18.40713
48	1	110.3461833	-7.939315	250.338	1.4	5.876	44.70321
49	2	110.382645	-7.93970833	275.769	18.64	8.5	3.698619
50	3	110.329055	-7.93942333	247.243	2.64	3.11	23.41316
51	4	110.31033	-7.93962833	226.331	1.2	3.848	47.15229
52	5	110.3599417	-7.91886833	233.256	0.92	3.949	63.38478
53	6	110.3787433	-7.92115667	317.518	2.84	7.187	27.95053
54	7	110.323725	-7.92077333	275.878	0.76	3.555	90.74934
55	8	110.3738283	-7.90277167	250.338	1.8	7.065	34.76917
56	9	110.4091617	-7.90440667	420.338	13.48	3.069	7.795586
57	10	110.35526	-7.89986833	282.706	4.44	4.304	15.91813
58	11	110.3877883	-7.88548333	335.174	1.12	8.21	74.81563
59	12	110.3695167	-7.88525	287.082	3.4	4.354	21.10897
60	13	110.35189	-7.88539333	267.965	2.92	3.393	22.94221
61	14	110.4012083	-7.86693667	271.406	1.4	5.84	48.46536
62	15	110.41978	-7.86698667	346.353	3.04	4.964	28.48298
63	16	110.4438467	-7.85897667	606.341	1.24	1.84	122.2462
64	17	110.38305	-7.86725	278.794	0.56	3.503	124.4616
65	18	110.364735	-7.86716833	278.794	2.48	3.713	28.10423
66	19	110.4255867	-7.84910833	270.906	1.08	7.253	62.70972
67	20	110.446355	-7.84869667	468.145	6.64	5.538	17.62594
68	21	110.3918767	-7.84954167	297.797	0.76	4.975	97.95954
69	22	110.4420317	-7.8312	263.843	1.44	5.536	45.80608
70	23	110.459855	-7.830745	296.018	10.53	2.099	7.027968

71	24	110.47834	-7.831045	614.087	7.64	4.345	20.09447
72	25	110.42394	7.831311667	288.273	1.04	11.35	69.29639
73	26	110.4050067	-7.83101	306.389	0.88	4.191	87.04233
74	27	110.4555783	-7.813065	248.039	0.8	9.551	77.51219
75	28	110.4733683	-7.814015	306.238	4.6	3.423	16.64337
76	29	110.436445	-7.81245167	306.789	1.04	7.448	73.74736
77	30	110.418765	-7.81235833	309.247	0.76	4.527	101.726
78	31	110.4683817	-7.79441	303.219	0.56	8.193	135.3656
79	32	110.4873867	-7.79489	294.569	0.68	10.74	108.2974
80	33	110.5033133	-7.79893833	684.056	17.52	2.399	9.761073
81	34	110.4827767	-7.77656167	312.702	1.84	4.784	42.48668
82	35	110.514725	-7.78269667	654.693	17.52	3.305	9.34208
83	36	110.44631	-7.77708667	323.044	0.8	5.368	100.9513
84	37	110.496685	-7.75871333	350.801	1.56	4.588	56.21811
85	38	110.53241	-7.75943	304.587	1.2	5.188	63.45563
86	39	110.460205	-7.75835333	336.043	0.76	4.925	110.5405

LAMPIRAN II

RELIABILITAS KURVA HVSR

ID	Nw	f_0	A_o	lw	10/lw	nc	$0,5 f_0$	$2 f_0$	stdev		$A_o/2$	$f_0/4$	$4 f_0$	kriteria reliable			kriteria clear peak					
									f_0	A_o				i	ii	iii	i	ii	iii	iv	v	vi
b1	54	1.44	4.393	25	0.4	1944	0.72	2.88	0.64	0.91	0.36	5.76	2.20	v	v	v	-	v	v	-	-	v
b2	52	3.24	4.998	25	0.4	4374	1.62	6.48	1.43	0.90	0.81	12.96	2.50	v	v	v	-	v	v	v	-	v
b3	33	9.48	4.43	25	0.4	7821	4.74	18.96	4.13	1.19	2.37	37.92	2.22	v	v	v	-	-	v	v	-	v
b4	55	3.6	4.781	25	0.4	4950	1.8	7.2	1.58	1.12	0.90	14.40	2.39	v	v	v	-	v	v	v	-	v
b5	56	1.28	3.745	25	0.4	1792	0.64	2.56	0.57	0.90	1.87	0.32	5.12	v	v	v	-	v	v	v	-	v
b6	61	2.84	2.283	25	0.4	4331	1.42	5.68	1.24	0.54	1.14	0.71	11.36	v	v	v	-	v	v	v	-	v
b7	62	3	1.794	25	0.4	4650	1.5	6	1.31	0.31	0.90	0.75	12.00	v	v	v	-	-	-	v	-	v
b8	58	1.76	2.656	25	0.4	2552	0.88	3.52	0.78	0.46	1.33	0.44	7.04	v	v	v	-	v	v	v	-	v
b9	38	3.16	4.218	25	0.4	3002	1.58	6.32	1.38	0.99	2.11	0.79	12.64	v	v	v	-	v	v	v	-	v
c1	35	3.12	4.415	25	0.4	2730	1.56	6.24	1.37	0.56	2.21	0.78	12.48	v	v	v	-	-	v	v	-	v
c9	42	4.16	5.125	25	0.4	4368	2.08	8.32	1.82	1.37	2.56	1.04	16.64	v	v	v	-	v	v	v	-	v
c10	29	2.64	5.411	25	0.4	1914	1.32	5.28	1.16	1.07	2.71	0.66	10.56	v	v	v	-	v	v	v	-	v
d2	38	2.04	4.5	25	0.4	1938	1.02	4.08	0.89	1.02	2.25	0.51	8.16	v	v	v	-	v	v	v	-	v
d3	31	3.4	3.431	25	0.4	2635	1.7	6.8	1.67	0.36	1.72	0.85	13.60	v	v	v	-	-	v	v	-	v
d5	59	1.12	2.884	25	0.4	1652	0.56	2.24	0.50	0.56	1.44	0.28	4.48	v	v	v	v	v	v	v	-	v
d6	50	1.2	5.011	25	0.4	1500	0.6	2.4	0.54	1.05	2.51	0.30	4.80	v	v	v	v	v	v	v	-	v
d7	40	1.64	7.273	25	0.4	1640	0.82	3.28	0.72	1.44	3.64	0.41	6.56	v	v	v	v	v	v	v	-	v
d8	26	1.72	3.084	25	0.4	1118	0.86	3.44	0.76	0.76	1.54	0.43	6.88	v	v	v	-	v	v	v	-	v
d9	62	0.64	7.349	25	0.4	992	0.32	1.28	0.29	1.98	3.67	0.16	2.56	v	v	v	v	v	v	v	-	v
ta1	17	1	1.281	25	0.4	425	0.5	2	0.44	0.15	0.64	0.25	4.00	v	v	v	-	-	-	v	-	v
ta2	76	4.48	2.39	25	0.4	8512	2.24	8.96	1.96	0.67	1.20	1.12	17.92	v	v	v	-	v	v	v	-	v

ta3	16	2.8	1.079	25	0.4	1120	1.4	5.6	1.23	0.19	0.54	0.70	11.20	v	v	v	-	v	-	v	-	v
ta4	74	4	0.9855	25	0.4	7400	2	8	1.75	0.13	0.49	1.00	16.00	v	v	v	-	-	v	v	-	v
ta5	61	1.96	5.847	25	0.4	2989	0.98	3.92	0.86	1.85	2.92	0.49	7.84	v	v	v	-	v	v	v	-	-
ta6	63	1.2	3.881	25	0.4	1890	0.6	2.4	0.54	0.92	1.94	0.30	4.80	v	v	v	-	v	v	v	-	v
ta7	74	1.2	5.835	25	0.4	2220	0.6	2.4	0.54	1.21	2.92	0.30	4.80	v	v	v	-	v	v	v	-	v
ta8	61	1.12	4.049	25	0.4	1708	0.56	2.24	0.50	0.87	2.02	0.28	4.48	v	v	v	-	v	v	v	-	v
ta9	43	1.08	3.479	25	0.4	1161	0.54	2.16	0.48	0.71	1.74	0.27	4.32	v	v	v	-	-	v	v	-	v
ta10	73	0.6	2.58	25	0.4	1095	0.3	1.2	0.27	0.73	1.29	0.15	2.40	v	v	v	-	v	v	v	-	v
ta11	77	1.16	4.214	25	0.4	2233	0.58	2.32	0.51	0.90	2.11	0.29	4.64	v	v	v	-	v	v	v	-	v
t-1	52	3.8	1.598	25	0.4	4940	1.9	7.6	1.66	0.40	0.80	0.95	15.20	v	v	v	-	v	-	v	-	-
t-4	11	1.32	2.691	25	0.4	363	0.66	2.64	0.61	0.44	1.35	0.33	5.28	v	v	v	-	v	v	v	-	v
t-5	22	1.84	4.261	25	0.4	1012	0.92	3.68	0.62	0.56	2.13	0.46	7.36	v	v	v	-	-	v	v	-	v
t-9	31	3.44	4.003	25	0.4	2666	1.72	6.88	1.51	0.90	2.00	0.86	13.76	v	v	v	v	v	v	v	-	v
t-11	19	3.16	3.186	25	0.4	1501	1.58	6.32	1.38	0.62	1.59	0.79	12.64	v	v	v	-	v	v	v	-	v
t-13	28	2.68	4.055	25	0.4	1876	1.34	5.36	1.17	0.88	2.03	0.67	10.72	v	v	v	v	-	v	v	-	v
t-19	28	3.44	3.982	25	0.4	2408	1.72	6.88	1.51	0.83	1.99	0.86	13.76	v	v	v	-	v	v	v	-	v
t-23	26	2.56	4.768	25	0.4	1664	1.28	5.12	1.13	1.13	2.38	0.64	10.24	v	v	v	-	v	v	v	-	v
t-24	42	2.96	5.521	25	0.4	3108	1.48	5.92	1.30	1.55	2.76	0.74	11.84	v	v	v	-	v	v	v	-	v
t-25	33	4.04	2.415	25	0.4	3333	2.02	8.08	1.76	0.38	1.21	1.01	16.16	v	v	v	-	v	v	v	-	-
t-26	37	2.8	3.921	25	0.4	2590	1.4	5.6	1.22	0.96	1.96	0.70	11.20	v	v	v	-	-	v	v	-	v
t-28	40	3.76	3.297	25	0.4	3760	1.88	7.52	1.65	0.76	1.65	0.94	15.04	v	v	v	-	v	v	v	-	-
t-34	50	5.24	7.72	25	0.4	6550	2.62	10.48	2.28	2.37	3.86	1.31	20.96	v	v	-	-	v	v	v	-	-
t-35	47	2.04	5.501	25	0.4	2397	1.02	4.08	0.89	0.95	2.75	0.51	8.16	v	v	v	v	v	v	v	-	v
t-37	23	3.32	3.234	25	0.4	1909	1.66	6.64	1.46	0.69	1.62	0.83	13.28	v	v	v	-	-	v	v	-	v
t-43	29	2	3.6	25	0.4	1450	1	4	0.88	0.84	1.80	0.50	8.00	v	v	v	-	v	v	v	-	v
t-48	40	3.4	2.937	25	0.4	3400	1.7	6.8	0.39	0.08	1.47	0.85	13.60	v	v	v	-	v	v	v	-	v
1	36	1.4	5.876	25	0.4	1260	0.7	2.8	0.63	1.44	0.35	5.60	2.94	v	v	v	-	v	v	v	-	v

2	33	18.64	8.5	25	0.4	15378	9.32	37.28	8.12	2.26	4.66	74.56	4.25	v	v	-	-	v	v	v	-	v
3	35	2.64	3.11	25	0.4	2310	1.32	5.28	1.16	0.71	0.66	10.56	1.56	v	v	v	-	v	v	v	-	v
4	51	1.2	3.848	25	0.4	1530	0.6	2.4	0.54	0.74	0.30	4.80	1.92	v	v	v	-	-	v	v	-	v
5	20	0.92	3.949	25	0.4	460	0.46	1.84	0.42	0.79	0.23	3.68	1.97	v	v	v	-	v	v	v	-	v
6	72	2.84	7.187	25	0.4	5112	1.42	5.68	1.25	1.62	0.71	11.36	3.59	v	v	v	-	v	v	v	-	v
7	50	0.76	3.555	25	0.4	950	0.38	1.52	0.35	0.88	0.19	3.04	1.78	v	v	v	-	v	v	v	-	v
8	36	1.8	7.065	25	0.4	1620	0.9	3.6	0.80	1.62	0.45	7.20	3.53	v	v	v	-	v	v	v	-	v
9	57	13.48	3.069	25	0.4	19209	6.74	26.96	5.86	0.82	3.37	53.92	1.53	v	v	v	-	-	v	v	-	v
10	44	4.44	4.304	25	0.4	4884	2.22	8.88	1.95	1.16	1.11	17.76	2.15	v	v	v	-	v	v	v	-	v
11	35	1.12	8.21	25	0.4	980	0.56	2.24	0.50	1.46	0.28	4.48	4.11	v	v	v	-	v	v	-	-	v
12	42	3.4	4.354	25	0.4	3570	1.7	6.8	1.50	0.64	0.85	13.60	2.18	v	v	v	-	v	v	v	-	v
13	51	2.92	3.393	25	0.4	3723	1.46	5.84	1.29	0.58	0.73	11.68	1.70	v	v	v	-	v	v	v	-	v
14	39	1.4	5.84	25	0.4	1365	0.7	2.8	0.62	1.13	2.92	0.35	5.60	v	v	v	-	v	v	v	-	v
15	26	3.04	4.964	25	0.4	1976	1.52	6.08	1.33	0.97	2.48	0.76	12.16	v	v	v	-	v	v	v	-	v
16	30	1.24	1.84	25	0.4	930	0.62	2.48	0.55	0.23	0.92	0.31	4.96	v	v	v	-	-	-	v	-	v
17	56	0.56	3.502	25	0.4	784	0.28	1.12	0.26	0.76	2.48	0.14	2.24	v	v	v	-	-	v	-	-	v
18	41	2.48	3.713	25	0.4	2542	1.24	4.96	1.09	0.87	1.86	0.62	9.92	v	v	v	-	v	v	v	-	v
19	30	1.08	7.253	25	0.4	810	0.54	2.16	0.48	1.09	5.13	0.27	4.32	v	v	v	v	v	v	v	-	v
20	24	6.64	5.538	25	0.4	3984	3.32	13.28	2.89	1.09	2.77	1.66	26.56	v	v	v	-	v	v	v	-	v
21	34	0.76	4.975	25	0.4	646	0.38	1.52	0.34	1.32	2.49	0.19	3.04	v	v	v	-	v	v	v	-	v
22	20	1.44	5.536	25	0.4	720	0.72	2.88	0.64	1.08	2.77	0.36	5.76	v	v	v	v	v	v	v	-	v
23	33	10.53	2.099	25	0.4	8687.25	5.265	21.06	4.57	0.35	1.05	2.63	42.12	v	v	v	-	-	v	v	-	v
24	26	7.64	4.345	25	0.4	4966	3.82	15.28	3.32	0.87	2.17	1.91	30.56	v	v	v	-	-	v	v	-	v
25	45	1.04	11.35	25	0.4	1170	0.52	2.08	1.03	2.05	5.68	0.26	4.16	v	v	-	-	v	v	-	-	-
26	53	0.88	4.191	25	0.4	1166	0.44	1.76	0.66	0.88	2.10	0.22	3.52	v	v	v	-	v	-	-	-	v
27	51	0.8	9.551	25	0.4	1020	0.4	1.6	0.95	0.59	4.78	0.20	3.20	v	v	v	-	v	v	-	-	v
28	20	4.6	3.423	25	0.4	2300	2.3	9.2	0.26	0.38	1.71	1.15	18.40	v	v	v	-	v	v	v	-	v

30	46	1.04	7.448	25	0.4	1196	0.52	2.08	0.47	2.22	3.72	0.26	4.16	v	v	-	-	v	v	-	-	-
31	70	0.76	4.527	25	0.4	1330	0.38	1.52	0.55	0.67	2.26	0.19	3.04	v	v	v	-	-	v	-	-	v
32	62	0.56	8.193	25	0.4	868	0.28	1.12	0.41	1.87	4.10	0.14	2.24	v	v	v	-	v	v	-	-	v
33	20	0.68	10.74	25	0.4	340	0.34	1.36	0.59	2.52	5.37	0.17	2.72	v	v	-	-	v	v	-	-	-
34	33	17.52	2.399	25	0.4	14454	8.76	35.04	0.69	0.29	1.20	4.38	70.08	v	v	v	-	-	v	v	-	v
36	32	1.84	4.784	25	0.4	1472	0.92	3.68	0.61	1.06	2.39	0.46	7.36	v	v	v	-	v	v	v	-	v
38	29	17.52	3.305	25	0.4	12702	8.76	35.04	0.63	0.82	1.65	4.38	70.08	v	v	v	-	-	v	v	v	v
40	32	0.8	5.368	25	0.4	640	0.4	1.6	0.77	1.04	2.68	0.20	3.20	v	v	v	-	v	v	-	-	v
41	45	1.56	4.588	25	0.4	1755	0.78	3.12	0.85	1.04	2.29	0.39	6.24	v	v	v	-	v	v	-	-	v
43	38	1.2	5.188	25	0.4	1140	0.6	2.4	0.86	1.33	2.59	0.30	4.80	v	v	v	-	v	v	-	-	v
45	12	0.76	4.925	25	0.4	228	0.38	1.52	0.94	0.46	2.46	0.19	3.04	v	v	v	-	v	v	v	-	v

Keterangan syarat:

A. Syarat kriteria *reliable*

- $f_0 > 10/I_w$
- $nc > 200$
- $\sigma_A < 2$ untuk $0.5 f_0 < f < 2f_0$ jika $f_0 > 0.5\text{Hz}$ **atau**

$\sigma_A > 3$ untuk $0.5 f_0 < f < 2f_0$ jika $f_0 > 0.5\text{Hz}$

B. Kriteria untuk *clear H/V peak* adalah sebagai berikut:

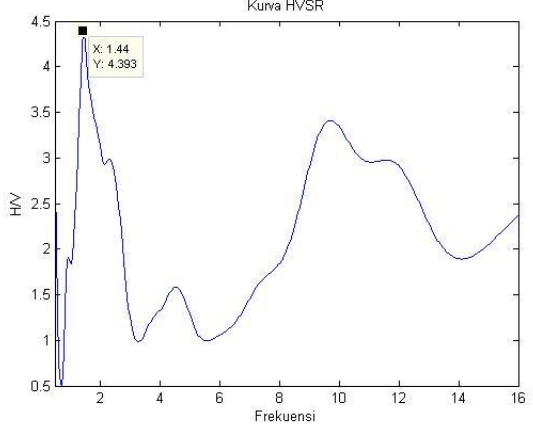
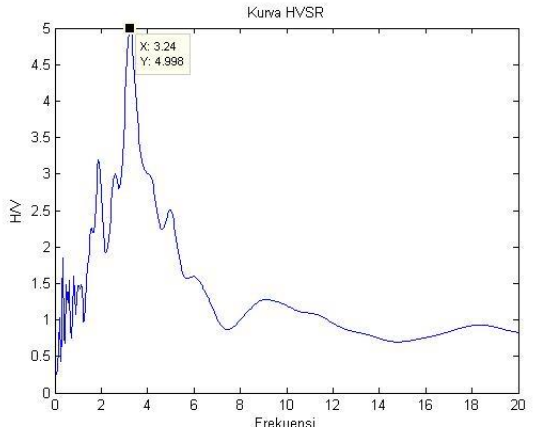
- $\exists f^- \in [f_0/4, f_0] | A_{H/V}(f^-) < A_0/2$

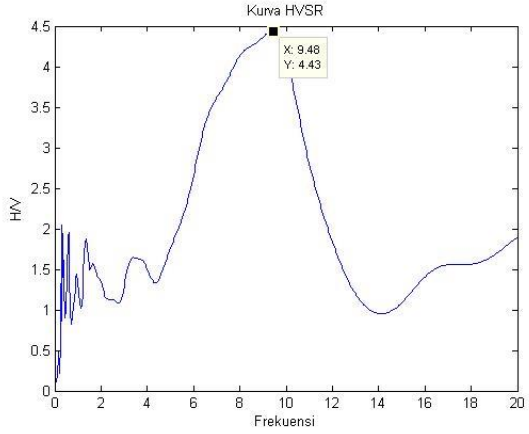
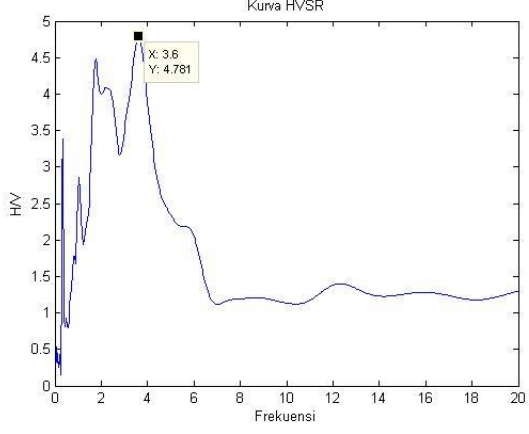
- b. $\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
- c. $A_0 > 2$
- d. $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$
- e. $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
- f. $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

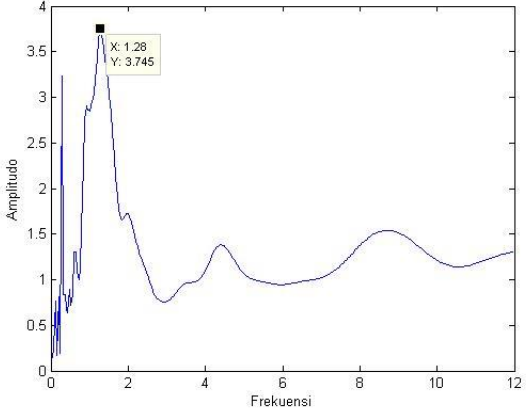
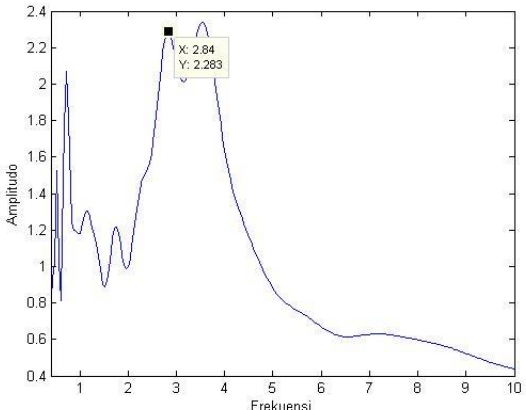
Nilai (✓) menandakan syarat terpenuhi, dan nilai (–) menandakan syarat tidak terpenuhi.

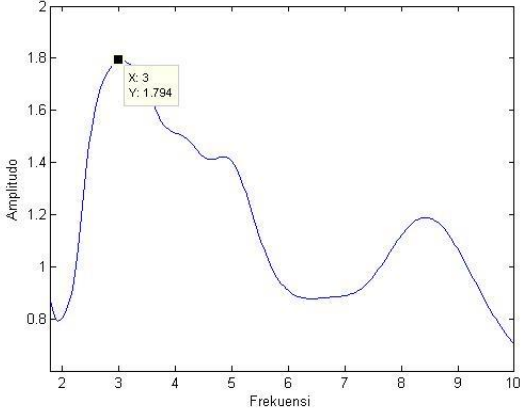
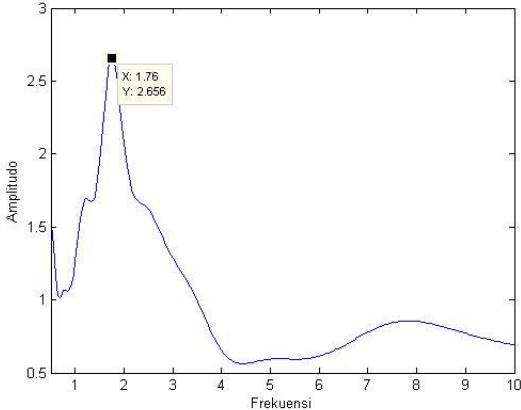
LAMPIRAN III

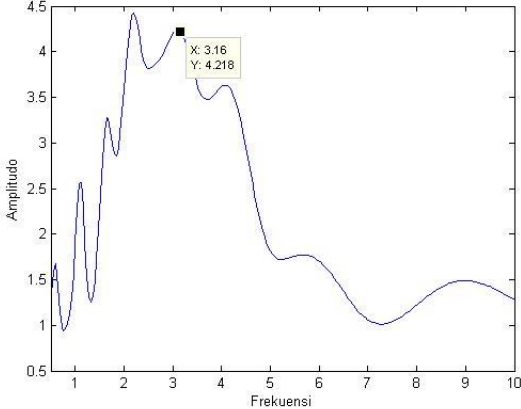
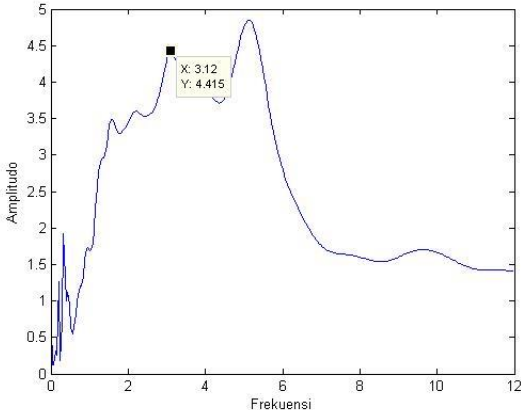
KURVA HVSR

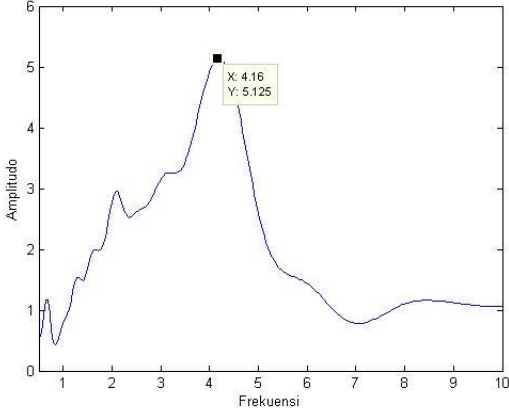
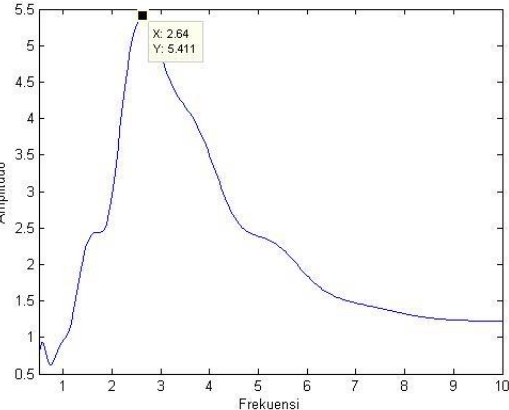
B1	
 <p>Kurva HVSR</p> <p>X: 1.44 Y: 4.393</p>	<p>$f = 1,44$ $A = 4,393$</p> <p>Kriteria Reliabel</p> <ul style="list-style-type: none"> i. $1,44 > 0,4$ ii. $1944 > 200$ iii. $0,914 < 2$ <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ul style="list-style-type: none"> i. $2,054 < 2,197$ ii. $1,860 < 2,197$ iii. $4,393 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. $0,641 < 0,144$ vi. $0,914 < 1,780$ <p>Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.</p>
B2	
 <p>Kurva HVSR</p> <p>X: 3.24 Y: 4.998</p>	<p>$f = 3,24$ $A = 4,998$</p> <p>Kriteria Reliabel</p> <ul style="list-style-type: none"> i. $3,24 > 0,4$ ii. $4374 > 200$ iii. $0,899 < 2$ <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ul style="list-style-type: none"> i. $2,471 < 2,499$ ii. $1,546 < 2,499$ iii. $4,998 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,426 < 0,162$ vi. $0,899 < 1,580$ <p>Informasi Lokasi Formasi geologi: Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan</p>

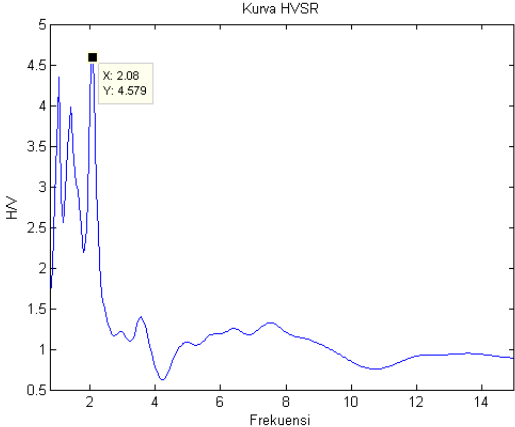
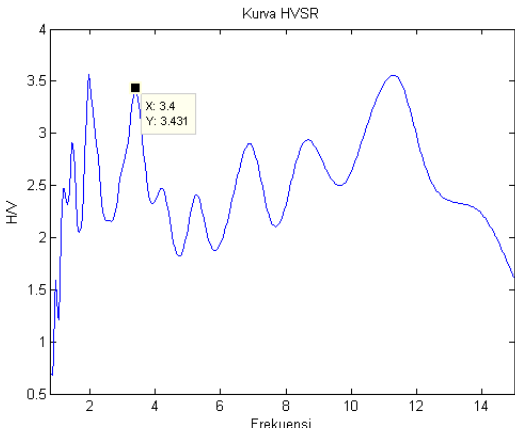
<p style="text-align: center;">B3</p>  <p>Kurva HVSr</p> <p>Peak: X: 9.48, Y: 4.43</p>	<p>$f = 9,48$ $A = 4,430$</p> <p>Kriteria Reliabel</p> <ol style="list-style-type: none"> $9,48 > 0,4$ $7821 > 200$ $1,188 < 2$ <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ol style="list-style-type: none"> $2,728 < 2,215$ $2,389 < 2,215$ $4,430 > 2$ Terpenuhi $4,128 < 0,474$ $1,188 < 1,580$ <p>Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.</p>
<p style="text-align: center;">B4</p>  <p>Kurva HVSr</p> <p>Peak: X: 3.6, Y: 4.781</p>	<p>$f = 3,6$ $A = 4,781$</p> <p>Kriteria Reliabel</p> <ol style="list-style-type: none"> $3,6 > 0,4$ $4950 > 200$ $1,121 < 2$ <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ol style="list-style-type: none"> $3,529 < 2,391$ $1,618 < 2,391$ $4,781 > 2$ Terpenuhi $1,576 < 0,180$ $1,121 < 1,580$ <p>Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.</p>

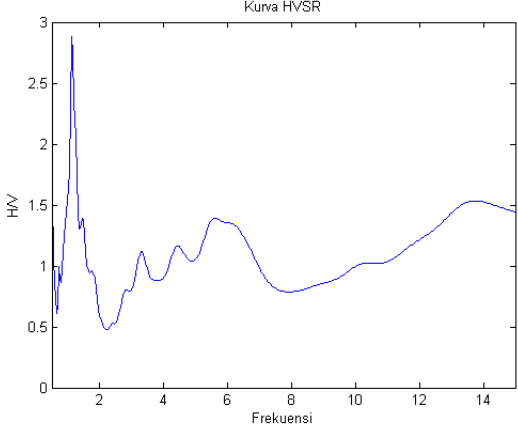
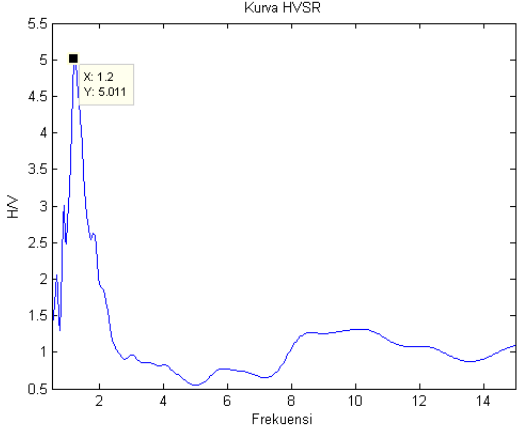
<p style="text-align: center;">B5</p> 	<p>$f = 1,28$ $A = 3,745$</p> <p>Kriteria Reliabel</p> <ol style="list-style-type: none"> $1,28 > 0,4$ $1792 > 200$ $0,903 < 2$ <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ol style="list-style-type: none"> $2,199 < 1,873$ $1,312 < 1,873$ $3,745 > 2$ Terpenuhi $0,572 < 0,128$ $0,903 < 1,780$ <p>Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.</p>
<p style="text-align: center;">B6</p> 	<p>$f = 2,84$ $A = 2,283$</p> <p>Kriteria Reliabel</p> <ol style="list-style-type: none"> $2,84 > 0,4$ $4331 > 200$ $0,541 < 2$ <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ol style="list-style-type: none"> $1,382 < 1,142$ $0,829 < 1,142$ $2,283 > 2$ Terpenuhi $1,241 < 0,142$ $0,541 < 1,580$ <p>Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan</p>

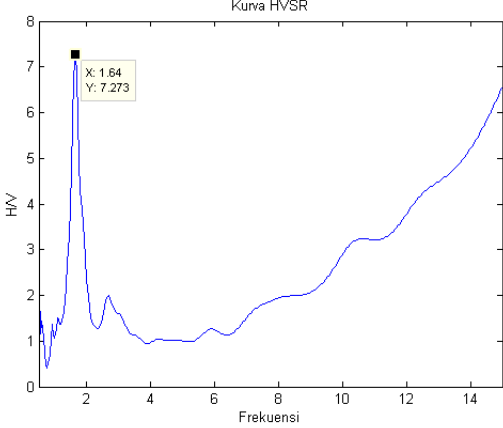
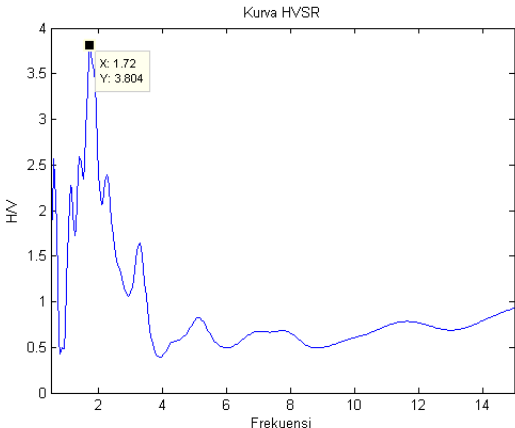
B7	
	<p> $f = 3$ $A = 1,794$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $3 > 0,4$ ii. $4650 > 200$ iii. $0,307 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $1,264 < 0,897$ ii. $1,017 < 0,897$ iii. $1,794 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,311 < 0,150$ vi. $0,307 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
B8	
	<p> $f = 1,76$ $A = 2,656$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $1,76 > 0,4$ ii. $2552 > 200$ iii. $0,456 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $1,675 < 1,328$ ii. $0,937 < 1,328$ iii. $2,656 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,779 < 0,176$ vi. $0,456 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

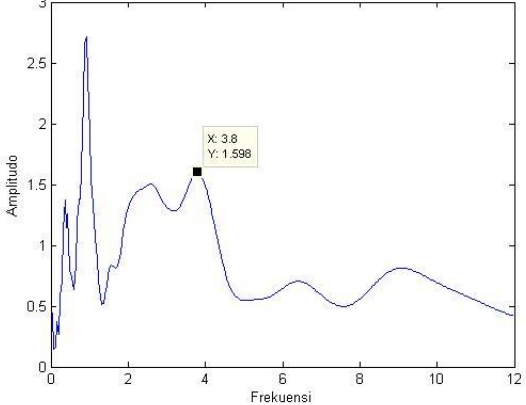
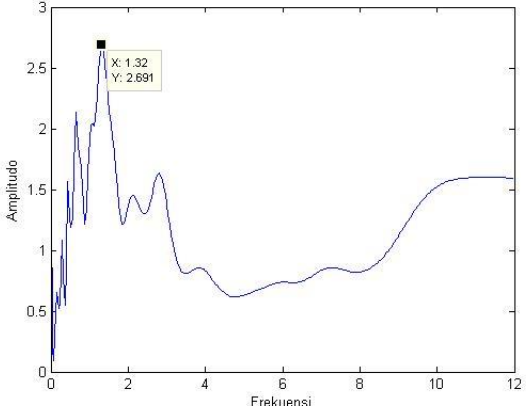
<p style="text-align: center;">B9</p> 	<p> $f = 3,16$ $A = 4,218$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $3,16 > 0,4$ ii. $3002 > 200$ iii. $0,995 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $3,239 < 2,109$ ii. $1,615 < 2,109$ iii. $4,218 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,380 < 0,158$ vi. $0,995 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">C1</p> 	<p> $f = 3,12$ $A = 4,415$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $3,12 > 0,4$ ii. $2730 > 200$ iii. $0,561 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $3,329 < 2,208$ ii. $2,353 < 2,208$ iii. $4,415 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,368 < 0,156$ vi. $0,561 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

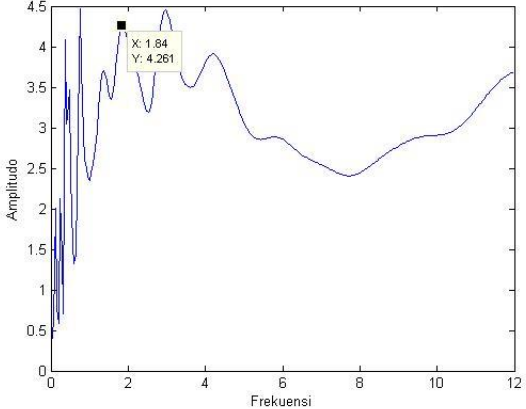
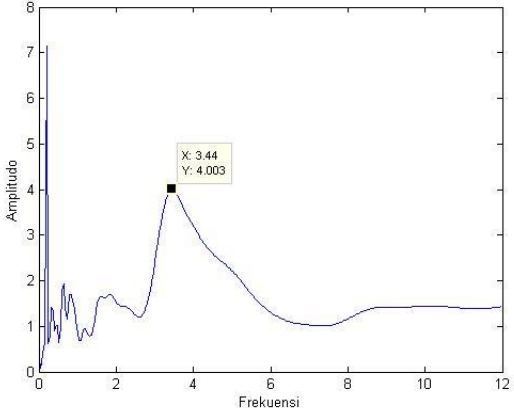
<p style="text-align: center;">C9</p> 	<p> $f = 4,16$ $A = 5,125$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $4,16 > 0,4$ ii. $4368 > 200$ iii. $1,371 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $2,987 < 2,563$ ii. $1,457 < 2,563$ iii. $5,125 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,819 < 0,208$ vi. $1,371 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">C10</p> 	<p> $f = 2,64$ $A = 5,411$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $2,64 > 0,4$ ii. $1914 > 200$ iii. $1,075 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $2,833 < 2,706$ ii. $2,131 < 2,706$ iii. $5,411 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,160 < 0,132$ vi. $1,075 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

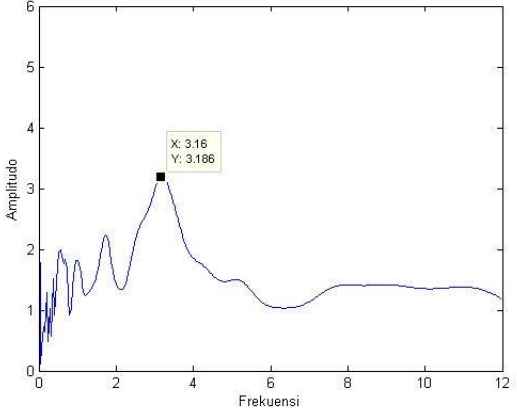
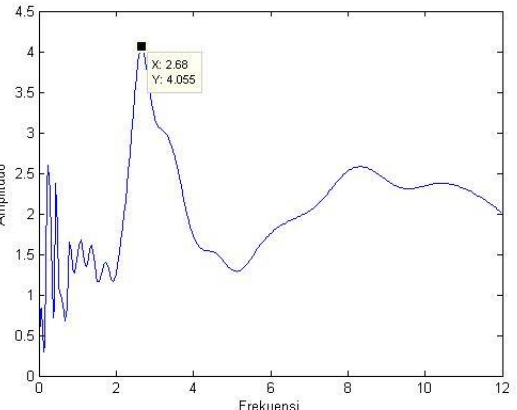
<p style="text-align: center;">D2</p>  <p>Kurva HVSr</p> <p>Y-axis: HV (0.5 to 5) X-axis: Frekuensi (0 to 14)</p> <p>Peak data: X: 2.08, Y: 4.579</p>	<p>$f = 2,04$ $A = 4,5$</p> <p>Kriteria Reliabel</p> <ul style="list-style-type: none"> i. $2,04 > 0,4$ ii. $1938 > 200$ iii. $1,020 < 2$ <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ul style="list-style-type: none"> i. $2,870 < 2,250$ ii. $1,249 < 2,250$ iii. $4,5 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,895 < 0,102$ vi. $1,020 < 1,580$ <p>Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.</p>
<p style="text-align: center;">D3</p>  <p>Kurva HVSr</p> <p>Y-axis: HV (0.5 to 4) X-axis: Frekuensi (0 to 14)</p> <p>Peak data: X: 3.4, Y: 3.431</p>	<p>$f = 3,4$ $A = 3,431$</p> <p>Kriteria Reliabel</p> <ul style="list-style-type: none"> i. $3,4 > 0,4$ ii. $2635 > 200$ iii. $0,357 < 2$ <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ul style="list-style-type: none"> i. $2,511 < 1,716$ ii. $2,601 < 1,716$ iii. $3,431 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,669 < 0,170$ vi. $0,357 < 1,580$ <p>Informasi Lokasi Formasi Geologi : Formasi Wonosari Batuan Dasar : Batugamping terumbu, kalkarenit dan kalkarenit tufan</p>

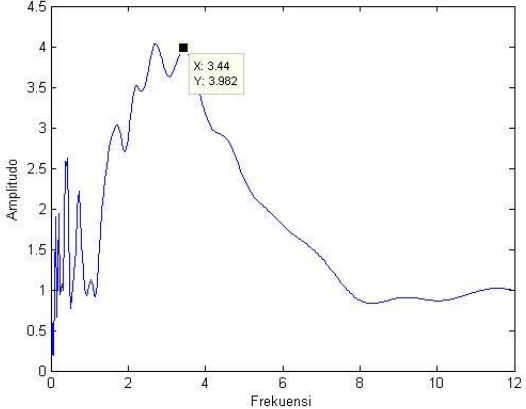
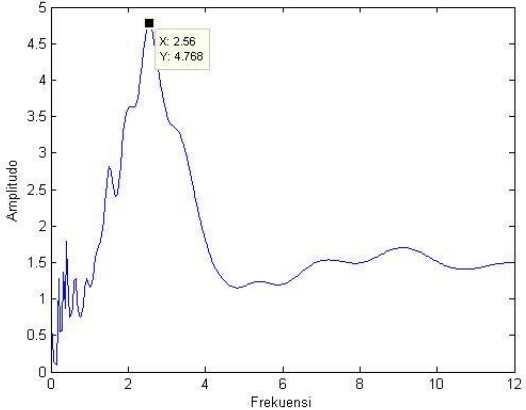
<p style="text-align: center;">D5</p> 	<p> $f = 1,12$ $A = 2,884$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $1,12 > 0,4$ ii. $1652 > 200$ iii. $0,556 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $1,363 < 1,442$ ii. $0,968 < 1,442$ iii. $2,884 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,502 < 0,112$ vi. $0,556 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Alluvium Batuan Dasar : Kerakal, pasir, lanau dan lempung sepanjang sungai yang besar dan dataran pantai. </p>
<p style="text-align: center;">D6</p> 	<p> $f = 1,2$ $A = 5,011$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $1,2 > 0,4$ ii. $1500 > 200$ iii. $1,048 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $2,472 < 2,506$ ii. $1,101 < 2,506$ iii. $5,011 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,537 < 0,120$ vi. $1,048 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

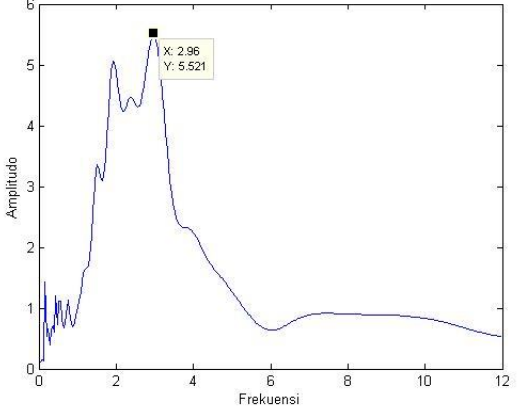
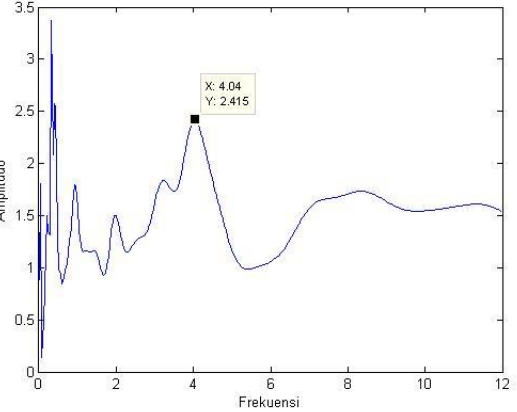
<p style="text-align: center;">D7</p> 	<p> $f = 1,64$ $A = 7,273$ </p> <p>Kriteria Reliabel</p> <ul style="list-style-type: none"> i. $1,64 > 0,4$ ii. $1640 > 200$ iii. $1,438 < 2$ <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ul style="list-style-type: none"> i. $2,188 < 3,637$ ii. $0,961 < 3,637$ iii. $7,273 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,722 < 0,164$ vi. $1,438 < 1,780$ <p>Informasi Lokasi</p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.</p>
<p style="text-align: center;">D8</p> 	<p> $f = 1,72$ $A = 3,084$ </p> <p>Kriteria Reliabel</p> <ul style="list-style-type: none"> i. $1,72 > 0,4$ ii. $1118 > 200$ iii. $0,759 < 2$ <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ul style="list-style-type: none"> i. $1,978 < 1,542$ ii. $1,036 < 1,542$ iii. $3,084 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,756 < 0,172$ vi. $0,759 < 1,780$ <p>Informasi Lokasi</p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.</p>

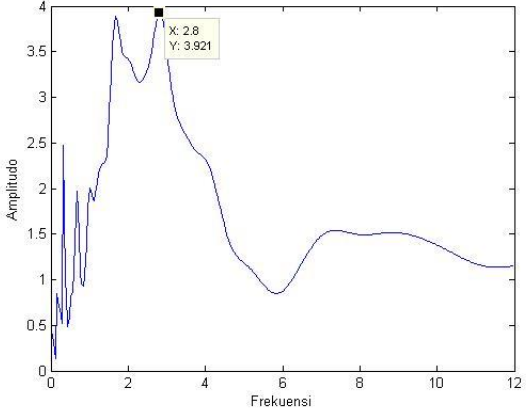
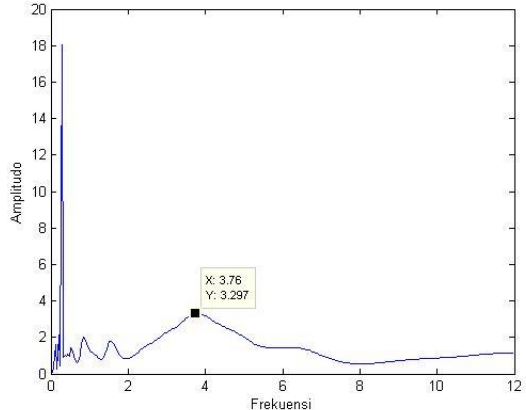
<p style="text-align: center;">Titik 1</p> 	<p> $f = 3,8$ $A = 1,598$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $3,8 > 0,4$ ii. $18772 > 200$ iii. $0,403 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $1,268 < 0,799$ ii. $0,585 < 0,799$ iii. $1,598 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,657 < 0,190$ vi. $0,403 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">Titik 4</p> 	<p> $f = 1,32$ $A = 2,691$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $1,32 > 0,4$ ii. $479,16 > 200$ iii. $0,436 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $1,740 < 1,346$ ii. $1,126 < 1,346$ iii. $2,691 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,606 < 0,132$ vi. $0,436 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

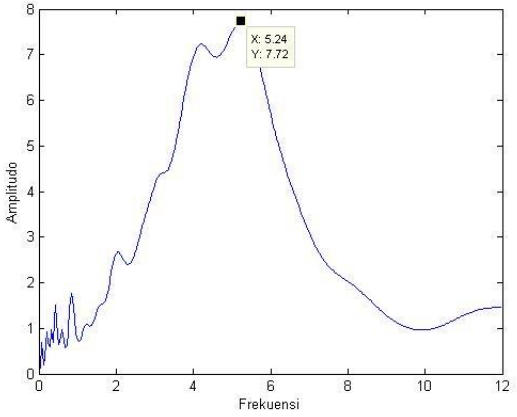
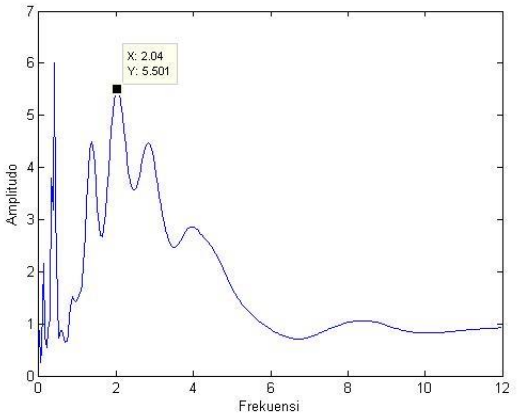
<p style="text-align: center;">Titik 5</p> 	<p> $f = 1,84$ $A = 4,261$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $1,84 > 0,4$ ii. $1862,08 > 200$ iii. $0,557 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $3,128 < 2,131$ ii. $3,308 < 2,131$ iii. $4,261 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,618 < 0,184$ vi. $0,557 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">Titik 9</p> 	<p> $f = 3,44$ $A = 4,003$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $3,44 > 0,4$ ii. $9171,04 > 200$ iii. $0,902 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $1,728 < 2,002$ ii. $1,629 < 2,002$ iii. $4,003 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,507 < 0,172$ vi. $0,902 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

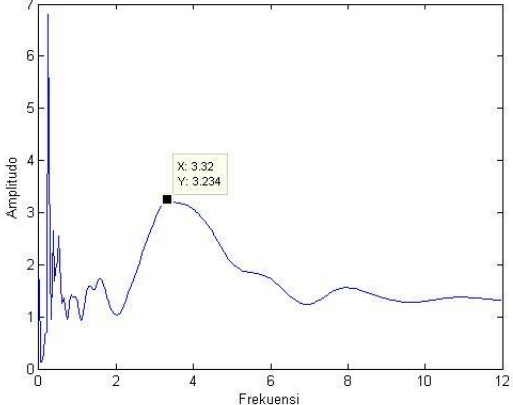
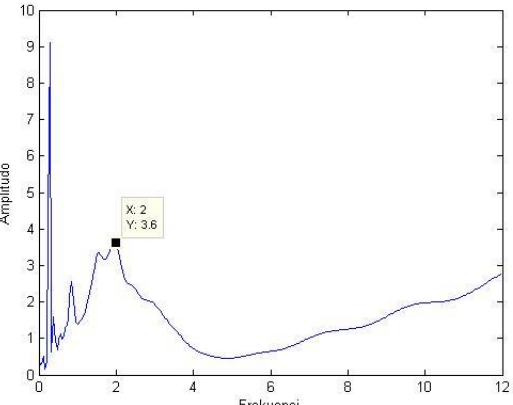
<p style="text-align: center;">Titik 11</p> 	<p> $f = 3,16$ $A = 3,186$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $3,16 > 0,4$ ii. $4743,16 > 200$ iii. $0,625 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $1,922 < 1,593$ ii. $1,433 < 1,593$ iii. $3,186 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,380 < 0,158$ vi. $0,625 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">Titik 13</p> 	<p> $f = 2,68$ $A = 4,055$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $2,68 > 0,4$ ii. $5027,68 > 200$ iii. $0,879 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $1,811 < 2,028$ ii. $2,180 < 2,028$ iii. $4,055 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,172 < 0,134$ vi. $0,879 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

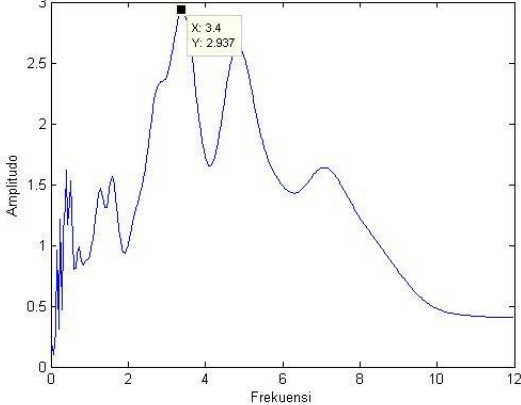
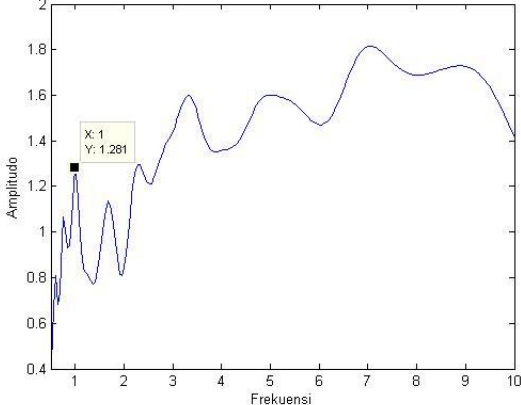
Titik 19	
	<p> $f = 3,44$ $A = 3,982$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $3,44 > 0,4$ ii. $8283 > 200$ iii. $0,830 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $2,993 < 1,991$ ii. $1,426 < 1,991$ iii. $3,982 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,507 < 0,172$ vi. $0,830 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
Titik 23	
	<p> $f = 2,56$ $A = 4,768$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $2,56 > 0,4$ ii. $4259,84 > 200$ iii. $1,126 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $2,828 < 2,384$ ii. $1,786 < 2,384$ iii. $4,768 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,126 < 0,128$ vi. $1,126 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

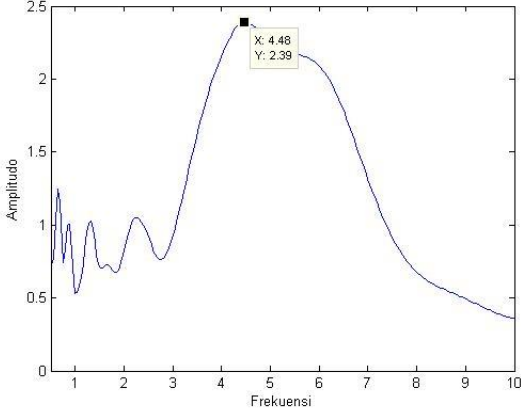
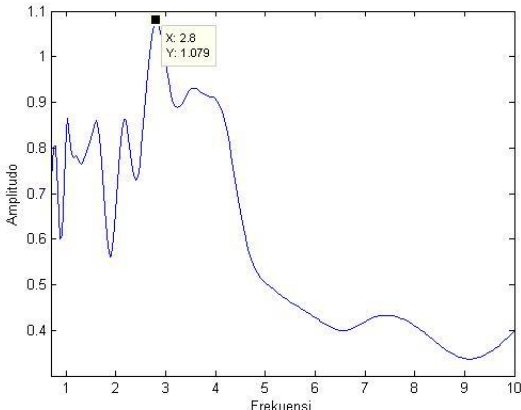
<p style="text-align: center;">Titik 24</p> 	<p> $f = 2,96$ $A = 5,521$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $2,96 > 0,4$ ii. $9199,68 > 200$ iii. $1,548 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $3,437 < 2,761$ ii. $1,218 < 2,761$ iii. $5,521 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,299 < 0,148$ vi. $1,548 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">Titik 25</p> 	<p> $f = 4,04$ $A = 2,415$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $4,04 > 0,4$ ii. $13465,32 > 200$ iii. $0,379 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $1,482 < 1,208$ ii. $1,461 < 1,208$ iii. $2,415 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,761 < 0,202$ vi. $0,379 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

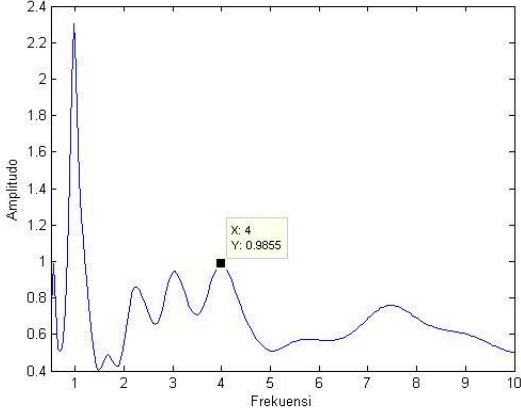
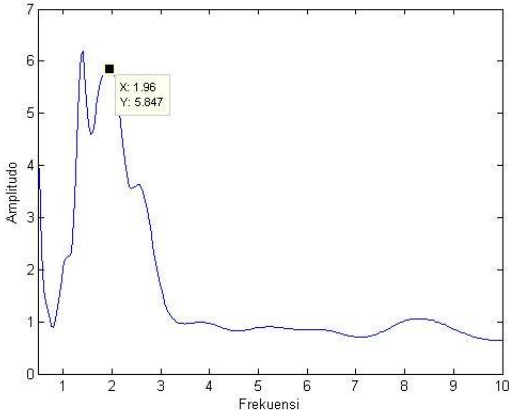
<p style="text-align: center;">Titik 26</p> 	<p> $f = 2,8$ $A = 3,921$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $2,8 > 0,4$ ii. $7252 > 200$ iii. $0,965 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $2,840 < 1,961$ ii. $1,591 < 1,961$ iii. $3,921 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,218 < 0,140$ vi. $0,965 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">Titik 28</p> 	<p> $f = 3,76$ $A = 3,297$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $3,76 > 0,4$ ii. $14137,6 > 200$ iii. $0,765 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $1,760 < 1,649$ ii. $1,211 < 1,649$ iii. $3,297 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,645 < 0,188$ vi. $0,765 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

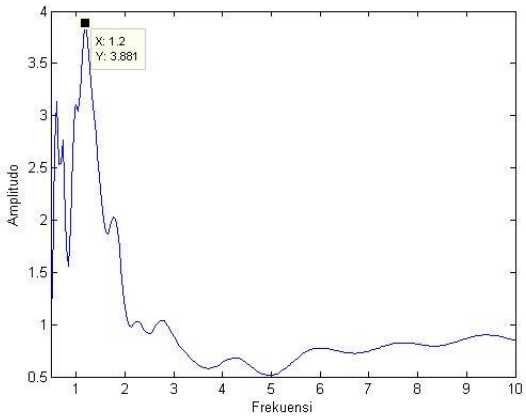
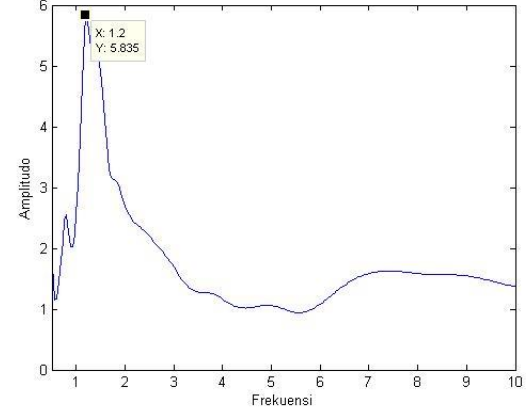
Titik 34	
	<p> $f = 5,24$ $A = 7,72$ </p> <p>Kriteria Reliabel</p> <ol style="list-style-type: none"> $5,24 > 0,4$ $34322 > 200$ $2,369 < 2$ <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ol style="list-style-type: none"> $4,667 < 3,860$ $1,721 < 3,860$ $7,720 > 2$ Terpenuhi $2,281 < 0,262$ $2,369 < 1,580$ <p>Informasi Lokasi</p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda</p> <p>Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.</p>
Titik 35	
	<p> $f = 2,04$ $A = 5,501$ </p> <p>Kriteria Reliabel</p> <ol style="list-style-type: none"> $2,04 > 0,4$ $4889,88 > 200$ $0,947 < 2$ <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ol style="list-style-type: none"> $2,750 < 2,751$ $2,025 < 2,751$ $5,501 > 2$ Terpenuhi $0,895 < 0,102$ $0,947 < 1,580$ <p>Informasi Lokasi</p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda</p> <p>Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.</p>

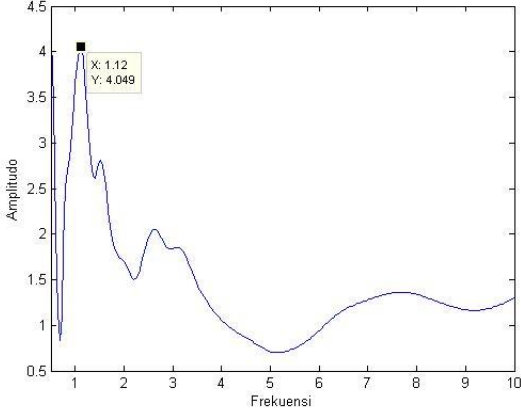
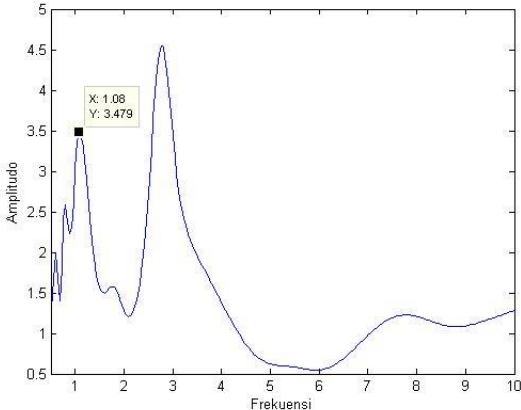
<p style="text-align: center;">Titik 37</p> 	<p> $f = 3,32$ $A = 3,324$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $3,32 > 0,4$ ii. $6338 > 200$ iii. $0,686 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $1,804 < 1,617$ ii. $1,663 < 1,617$ iii. $3,324 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,461 < 0,166$ vi. $0,686 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">Titik 43</p> 	<p> $f = 2$ $A = 3,6$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $2 > 0,4$ ii. $2900 > 200$ iii. $0,842 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $2,355 < 1,800$ ii. $1,134 < 1,800$ iii. $3,600 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,883 < 0,020$ vi. $0,842 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

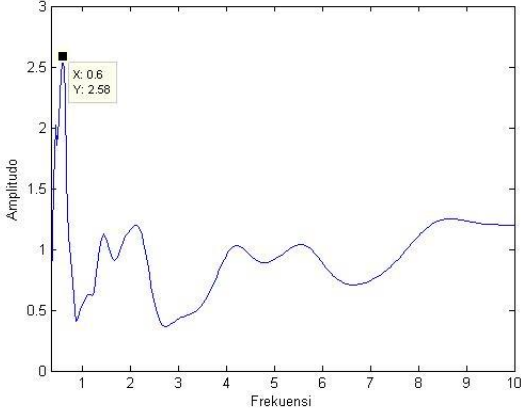
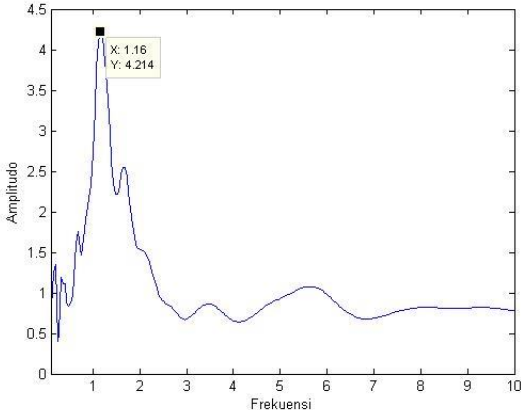
<p style="text-align: center;">Titik 48</p> 	<p> $f = 3,4$ $A = 2,937$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $3,4 > 0,4$ ii. $11560 > 200$ iii. $0,083 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $1,675 < 1,469$ ii. $1,141 < 1,469$ iii. $2,937 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,387 < 0,170$ vi. $0,083 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">TA1</p> 	<p> $f = 1$ $A = 1,281$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $1 > 0,4$ ii. $425 > 200$ iii. $0,146 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $1,023 < 0,641$ ii. $1,223 < 0,641$ iii. $1,281 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,445 < 0,150$ vi. $0,146 < 2$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

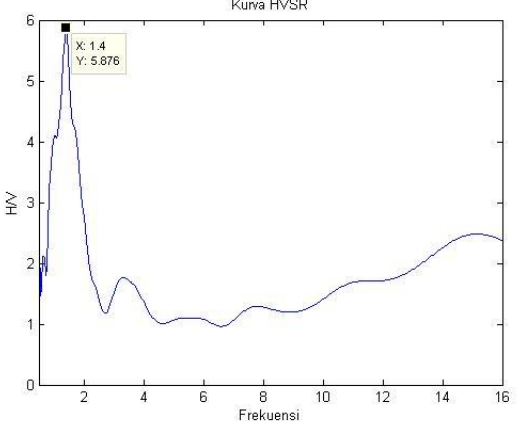
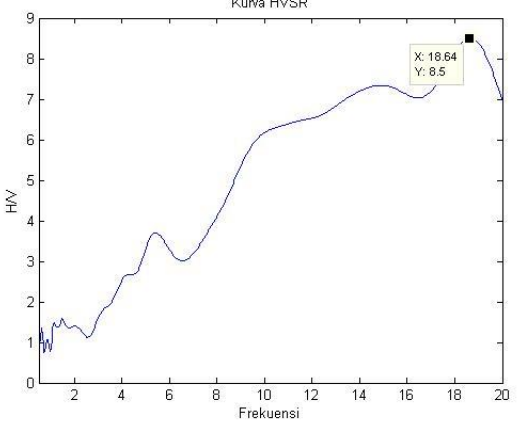
<p style="text-align: center;">TA2</p> 	<p> $f = 4,48$ $A = 2,390$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $4,48 > 0,4$ ii. $8512 > 200$ iii. $0,665 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $1,321 < 1,195$ ii. $0,745 < 1,195$ iii. $2,390 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,957 < 0,224$ vi. $0,665 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">TA3</p> 	<p> $f = 2,8$ $A = 1,079$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $2,8 > 0,4$ ii. $1120 > 200$ iii. $0,188 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $0,800 < 0,540$ ii. $0,522 < 0,540$ iii. $1,079 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,230 < 0,140$ vi. $0,188 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

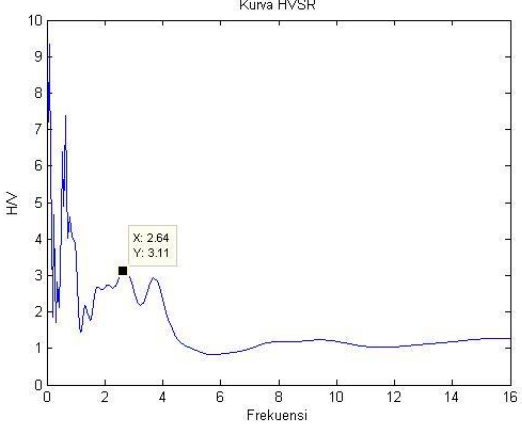
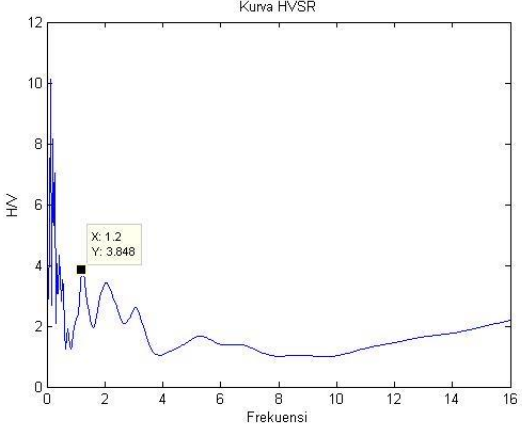
<p style="text-align: center;">TA4</p> 	<p> $f = 4$ $A = 0,986$ Kriteria Reliabel <ol style="list-style-type: none"> $4 > 0,4$ $7400 > 200$ $0,130 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> $0,753 < 0,493$ $0,6 < 0,493$ $0,986 > 2$ Terpenuhi $1,749 < 0,2$ $0,130 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">TA5</p> 	<p> $f = 1,96$ $A = 5,847$ Kriteria Reliabel <ol style="list-style-type: none"> $1,96 > 0,4$ $2989 > 200$ $1,855 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> $3,746 < 2,924$ $1,333 < 2,924$ $5,847 > 2$ Terpenuhi $0,860 < 0,196$ $1,855 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

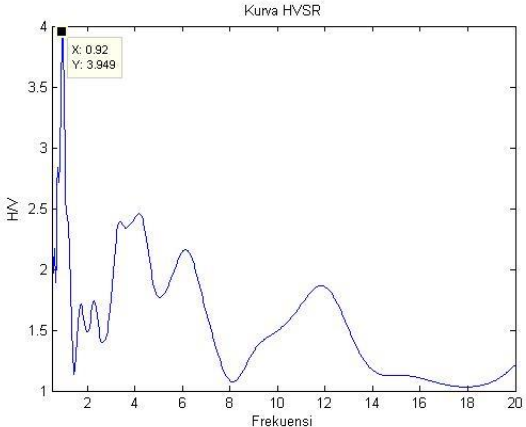
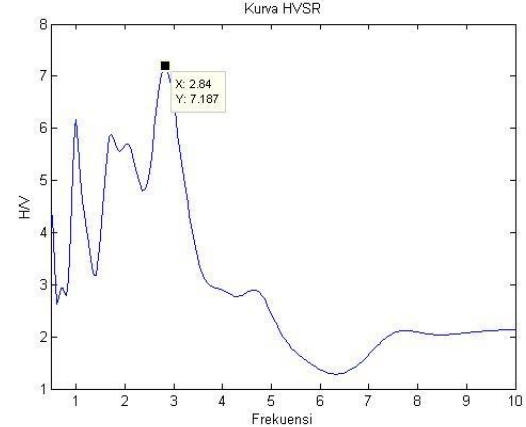
<p style="text-align: center;">TA6</p> 	<p> $f = 1,2$ $A = 3,881$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $1,2 > 0,4$ ii. $1890 > 200$ iii. $0,923 < 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. $2,599 < 1,941$ ii. $1,051 < 1,941$ iii. $3,881 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,537 < 0,162$ vi. $0,923 < 1,570$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">TA7</p> 	<p> $f = 1,2$ $A = 5,835$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $1,2 > 0,4$ ii. $2220 > 200$ iii. $1,207 < 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. $2,806 < 2,918$ ii. $2,034 < 2,918$ iii. $5,835 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,537 < 0,120$ vi. $1,207 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

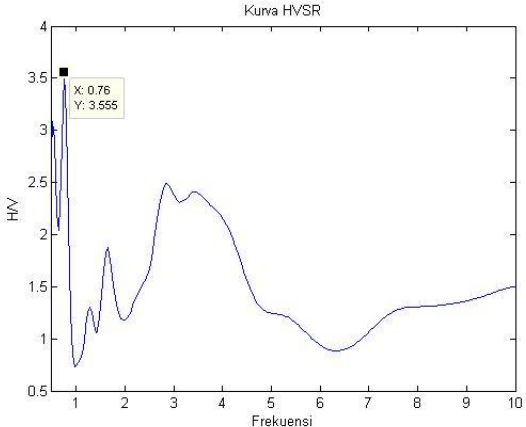
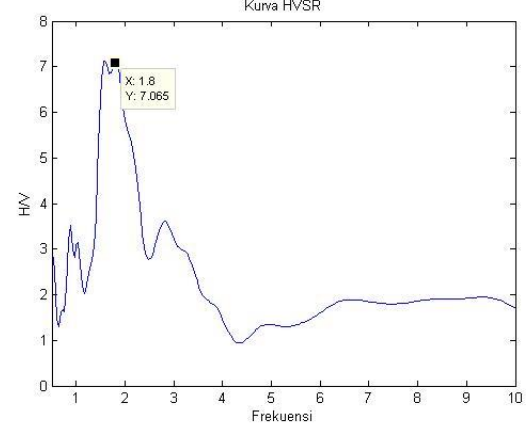
TA8	
	<p> $f = 1,12$ $A = 4,049$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $1,12 > 0,4$ ii. $1708 > 200$ iii. $0,865 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $3,340 < 2,025$ ii. $1,715 < 2,025$ iii. $4,049 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,502 < 0,112$ vi. $0,865 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
TA9	
	<p> $f = 1,08$ $A = 3,479$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $1,08 > 0,4$ ii. $1161 > 200$ iii. $0,708 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $2,268 < 1,740$ ii. $2,114 < 1,740$ iii. $3,479 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,479 < 0,108$ vi. $0,708 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

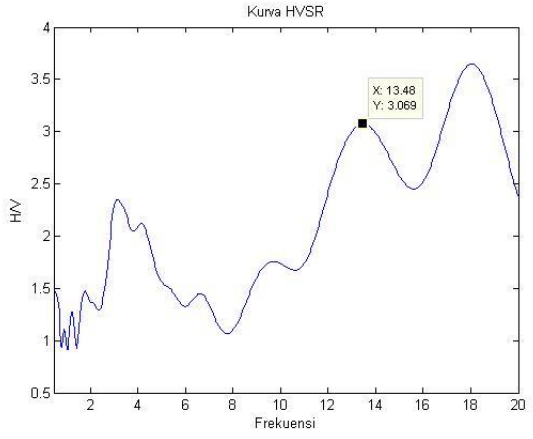
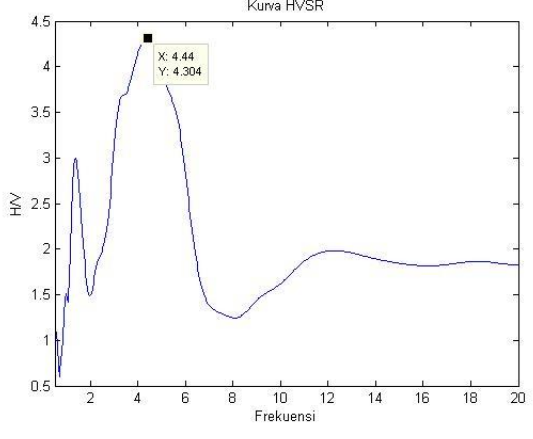
TA10	
	<p> $f = 0,6$ $A = 2,580$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $0,6 > 0,4$ ii. $1095 > 200$ iii. $0,733 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $2,326 < 1,290$ ii. $0,907 < 1,290$ iii. $2,580 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,271 < 0,090$ vi. $0,733 < 2$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
TA11	
	<p> $f = 1,16$ $A = 4,214$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $1,16 > 0,4$ ii. $2233 > 200$ iii. $0,902 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $2,211 < 2,107$ ii. $1,198 < 2,107$ iii. $4,214 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,514 < 0,116$ vi. $0,902 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

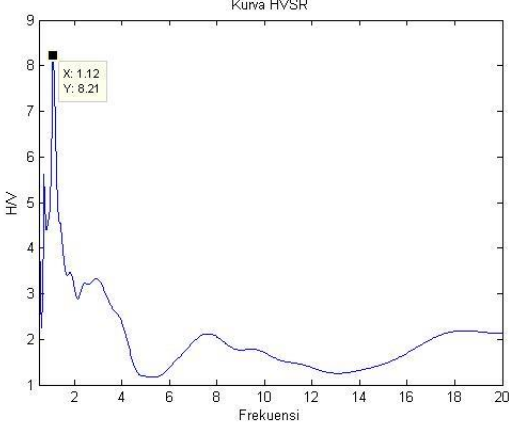
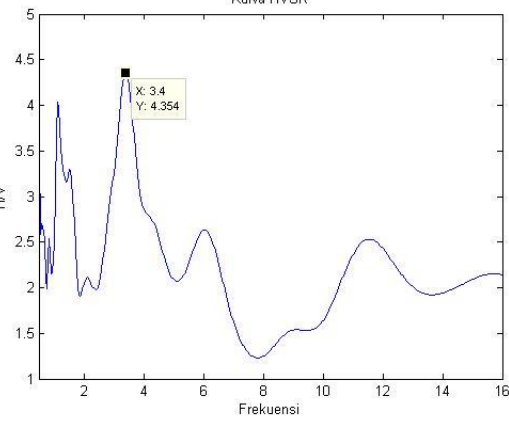
<p style="text-align: center;">1</p> 	<p> $f = 1,4$ $A = 5,876$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $1,4 > 0,4$ ii. $1260 > 200$ iii. $1,443 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $3,361 < 2,938$ ii. $1,522 < 2,938$ iii. $5,876 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,629 < 0,140$ vi. $1,443 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava ta terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">2</p> 	<p> $f = 18,64$ $A = 8,5$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $18,64 > 0,4$ ii. $15378 > 200$ iii. $2,259 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $5,929 < 4,250$ ii. $3,452 < 4,250$ iii. $8,5 > 2$ iv. Terpenuhi v. $8,123 < 0,932$ vi. $2,259 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

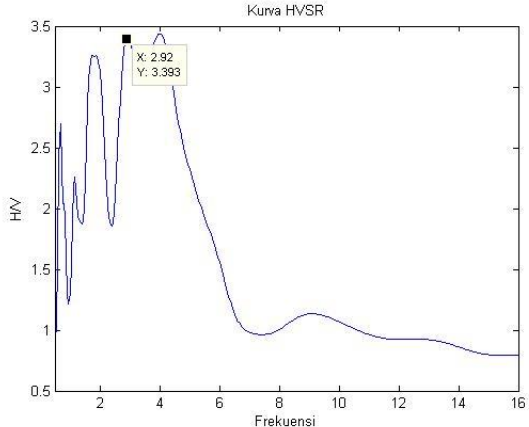
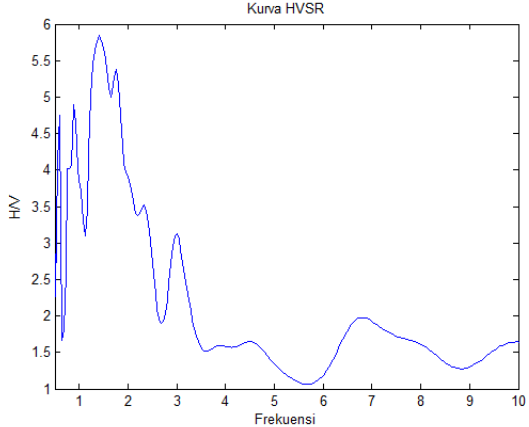
<p style="text-align: center;">3</p> 	<p> $f = 2,64$ $A = 3,110$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $2,64 > 0,4$ ii. $2310 > 200$ iii. $0,707 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $2,865 < 1,555$ ii. $1,390 < 1,555$ iii. $3,110 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,160 < 0,132$ vi. $0,707 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">4</p> 	<p> $f = 1,2$ $A = 3,848$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $1,2 > 0,4$ ii. $1530 > 200$ iii. $0,736 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $3,687 < 1,924$ ii. $2,094 < 2,499$ iii. $3,848 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,537 < 0,162$ vi. $0,736 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

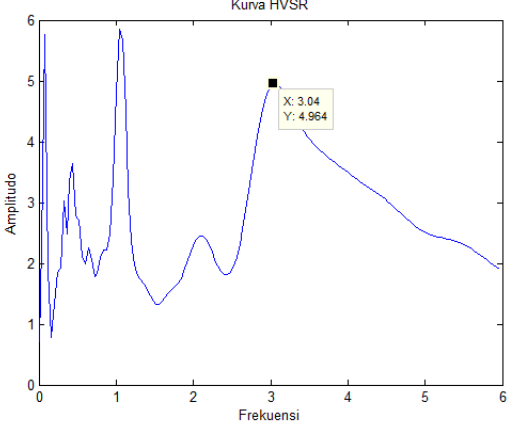
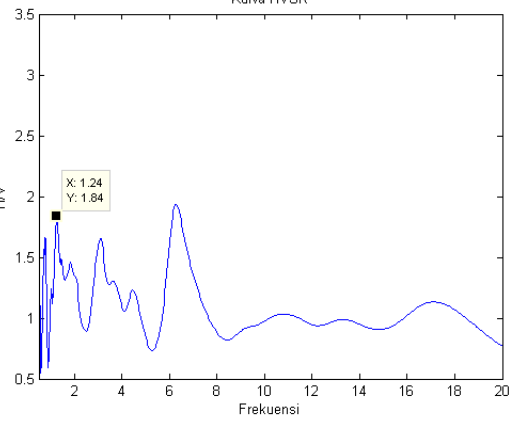
<p style="text-align: center;">5</p> 	<p> $f = 0,92$ $A = 3,949$ </p> <p>Kriteria Reliabel</p> <ol style="list-style-type: none"> $0,92 > 0,4$ $460 > 200$ $0,789 < 2$ <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ol style="list-style-type: none"> $5,213 < 1,975$ $1,890 < 1,975$ $3,949 > 2$ Terpenuhi $0,421 < 0,162$ $0,789 < 2$ <p>Informasi Lokasi</p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda</p> <p>Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.</p>
<p style="text-align: center;">6</p> 	<p> $f = 2,84$ $A = 7,187$ </p> <p>Kriteria Reliabel</p> <ol style="list-style-type: none"> $2,84 > 0,4$ $5112 > 200$ $1,623 < 2$ <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ol style="list-style-type: none"> $5,081 < 3,594$ $2,351 < 3,594$ $7,187 > 2$ Terpenuhi $1,253 < 0,142$ $1,623 < 1,580$ <p>Informasi Lokasi</p> <p>Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda</p> <p>Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.</p>

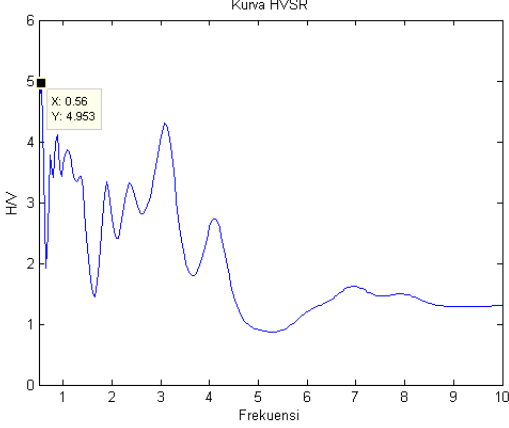
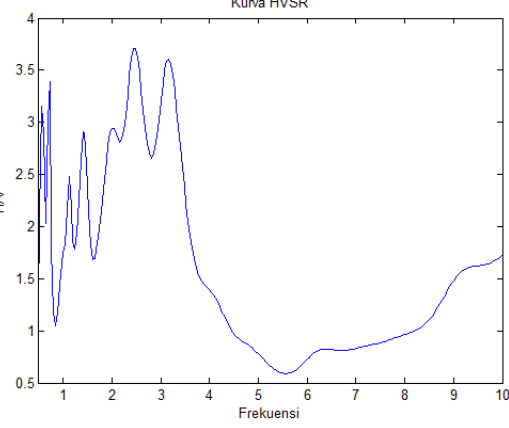
<p style="text-align: center;">7</p> 	<p> $f = 0,76$ $A = 3,555$ </p> <p>Kriteria Reliabel</p> <ol style="list-style-type: none"> $0,76 > 0,4$ $950 > 200$ $0,882 < 2$ <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ol style="list-style-type: none"> $2,927 < 1,778$ $1,604 < 1,778$ $3,555 > 2$ Terpenuhi $0,352 < 0,114$ $0,882 < 2$ <p>Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.</p>
<p style="text-align: center;">8</p> 	<p> $f = 1,8$ $A = 7,065$ </p> <p>Kriteria Reliabel</p> <ol style="list-style-type: none"> $1,8 > 0,4$ $1620 > 200$ $1,618 < 2$ <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ol style="list-style-type: none"> $3,689 < 3,533$ $2,272 < 3,533$ $7,065 > 2$ Terpenuhi $0,802 < 0,180$ $1,618 < 1,780$ <p>Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.</p>

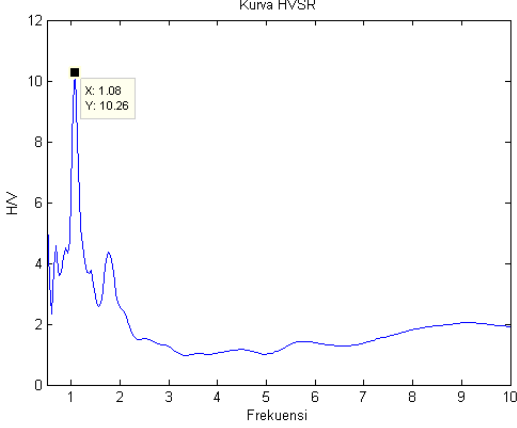
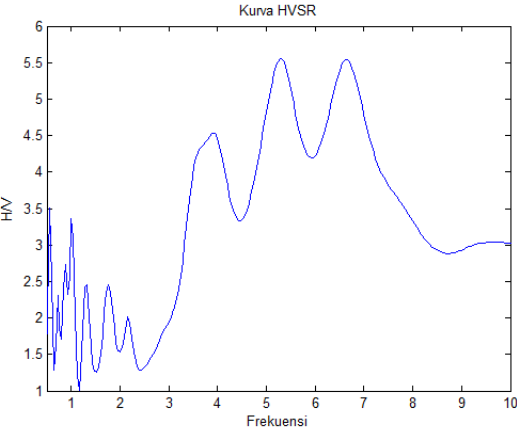
<p style="text-align: center;">9</p> 	<p> $f = 13,48$ $A = 3,069$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $13,48 > 0,4$ ii. $19209 > 200$ iii. $0,818 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $1,809 < 1,535$ ii. $2,262 < 1,535$ iii. $3,069 > 2$ iv. Terpenuhi v. $5,860 < 0,674$ vi. $0,818 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Formasi Semilir Batuan Dasar : Perselingan antara breksi-tuf, breksi batuapung, tuf dasit dan tuf andesit serta batu lempung tufan. </p>
<p style="text-align: center;">10</p> 	<p> $f = 4,44$ $A = 4,304$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $4,44 > 0,4$ ii. $4884 > 200$ iii. $1,162 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $2,913 < 2,152$ ii. $1,987 < 2,152$ iii. $4,304 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,946 < 0,222$ vi. $1,162 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

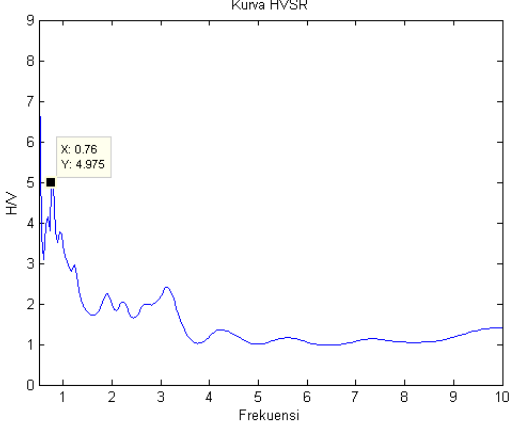
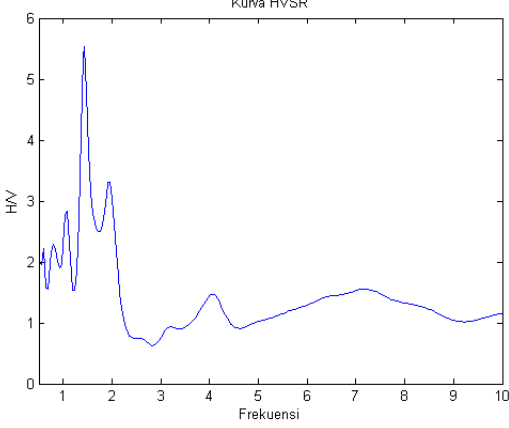
<p style="text-align: center;">11</p> 	<p> $f = 1,12$ $A = 8,210$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $1,12 > 0,4$ ii. $980 > 200$ iii. $1,462 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $7,445 < 4,105$ ii. $3,202 < 4,105$ iii. $8,210 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. $0,502 < 0,112$ vi. $1,462 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">12</p> 	<p> $f = 3,4$ $A = 4,354$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $3,4 > 0,4$ ii. $3570 > 200$ iii. $0,641 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $2,820 < 2,177$ ii. $2,099 < 2,177$ iii. $4,354 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,495 < 0,170$ vi. $0,641 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

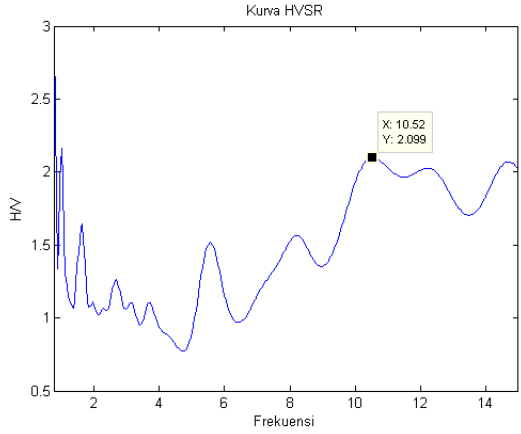
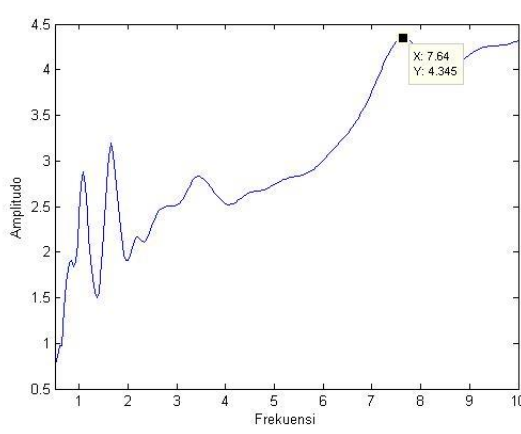
<p style="text-align: center;">13</p>  <p>Kurva HVSr</p> <p>Y: 3,393 X: 2,92</p> <p>HV</p> <p>Frekuensi</p>	<p>$f = 2,92$ $A = 3,393$</p> <p>Kriteria Reliabel</p> <ol style="list-style-type: none"> $2,92 > 0,4$ $3723 > 200$ $0,578 < 2$ <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ol style="list-style-type: none"> $2,436 < 1,697$ $1,651 < 1,697$ $3,393 > 2$ Terpenuhi $1,287 < 0,146$ $0,578 < 1,580$ <p>Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.</p>
<p style="text-align: center;">14</p>  <p>Kurva HVSr</p> <p>HV</p> <p>Frekuensi</p>	<p>$f = 1,4$ $A = 5,840$</p> <p>Kriteria Reliabel</p> <ol style="list-style-type: none"> $1,4 > 0,4$ $1365 > 200$ $1,129 < 2$ <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ol style="list-style-type: none"> $3,758 < 2,920$ $2,414 < 2,920$ $5,840 > 2$ Terpenuhi $0,618 < 0,140$ $1,129 < 1,780$ <p>Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.</p>

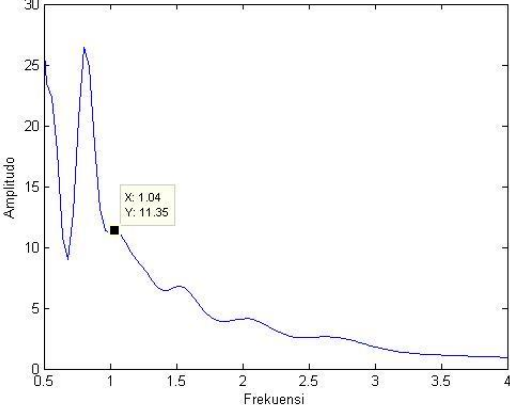
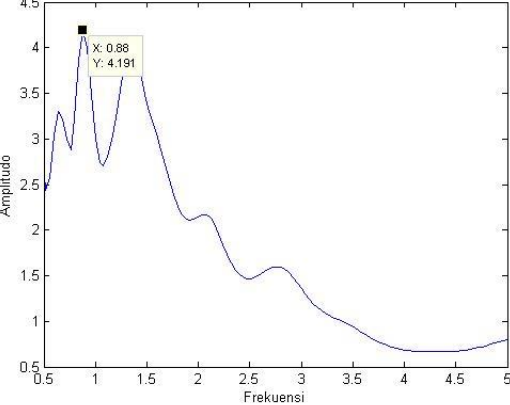
<p style="text-align: center;">15</p> 	<p> $f = 3,04$ $A = 4,964$ Kriteria Reliabel <ol style="list-style-type: none"> $3,04 > 0,4$ $1976 > 200$ $0,968 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> $2,588 < 2,482$ $1,896 < 2,482$ $4,964 > 2$ Terpenuhi $1,334 < 0,152$ $0,968 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">16</p> 	<p> $f = 1,24$ $A = 1,840$ Kriteria Reliabel <ol style="list-style-type: none"> $1,24 > 0,4$ $930 > 200$ $0,229 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> $1,576 < 0,920$ $1,244 < 0,920$ $1,840 > 2$ Terpenuhi $0,548 < 0,124$ $0,229 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Formasi Semilir Batuan Dasar : Perselingan antara breksi-tuf, breksi batuapung, tuf dasit dan tuf andesit serta batu lempung tufan </p>

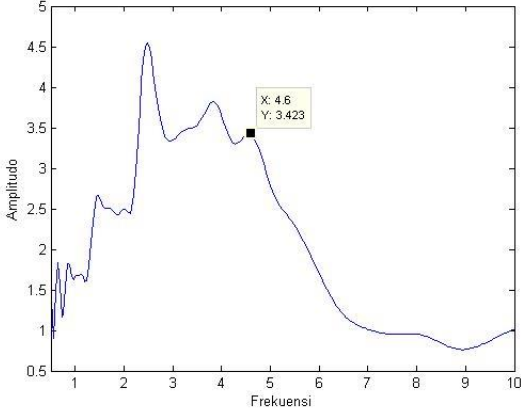
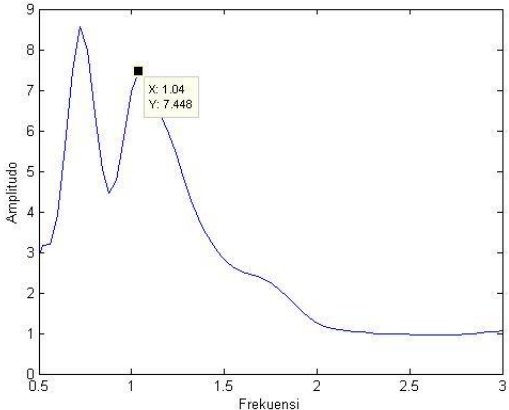
<p style="text-align: center;">17</p> 	<p> $f = 0,56$ $A = 4,953$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $0,56 > 0,4$ ii. $784 > 200$ iii. $0,755 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $3,760 < 2,477$ ii. $3,067 < 2,477$ iii. $4,953 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. $0,260 < 0,084$ vi. $0,755 < 2$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">18</p> 	<p> $f = 2,48$ $A = 3,713$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $2,48 > 0,4$ ii. $2542 > 200$ iii. $0,871 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $2,407 < 1,857$ ii. $1,358 < 1,857$ iii. $3,713 > 2$ iv. Terpenuhi v. $1,091 < 0,124$ vi. $0,871 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

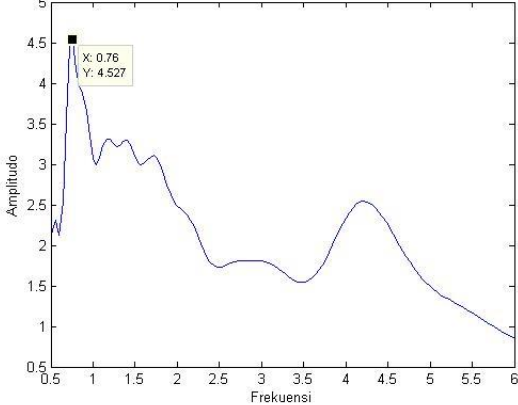
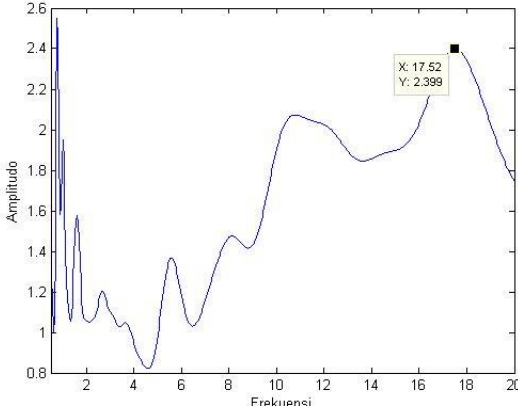
<p style="text-align: center;">19</p> 	<p> $f = 1,08$ $A = 10,26$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $1,08 > 0,4$ ii. $810 > 200$ iii. $1,092 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $4,148 < 5,130$ ii. $2,072 < 5,130$ iii. $10,26 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,479 < 0,108$ vi. $1,092 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">20</p> 	<p> $f = 6,64$ $A = 5,538$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $6,64 > 0,4$ ii. $3984 > 200$ iii. $1,088 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $3,571 < 2,769$ ii. $2,070 < 2,769$ iii. $5,538 > 2$ iv. Terpenuhi v. $2,893 < 0,332$ vi. $1,088 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Formasi Semilir Batuan Dasar : Perselingan antara breksi-tuf, breksi batuapung, tuf dasit dan tuf andesit serta batu lempung tufan. </p>

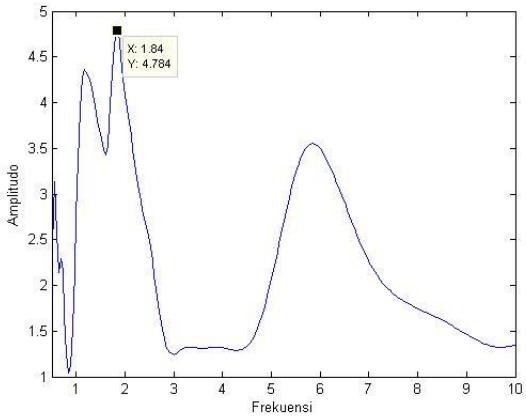
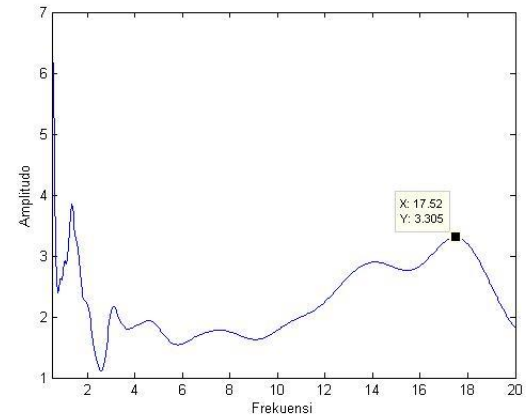
<p style="text-align: center;">21</p> 	<p> $f = 0,76$ $A = 4,975$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $0,76 > 0,4$ ii. $646 > 200$ iii. $1,321 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $5,974 < 2,488$ ii. $2,296 < 2,488$ iii. $4,975 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,341 < 0,114$ vi. $1,321 < 2$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">22</p> 	<p> $f = 1,44$ $A = 5,536$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $1,44 > 0,4$ ii. $720 > 200$ iii. $1,082 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $2,235 < 2,768$ ii. $1,350 < 2,768$ iii. $5,536 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,641 < 0,144$ vi. $1,082 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

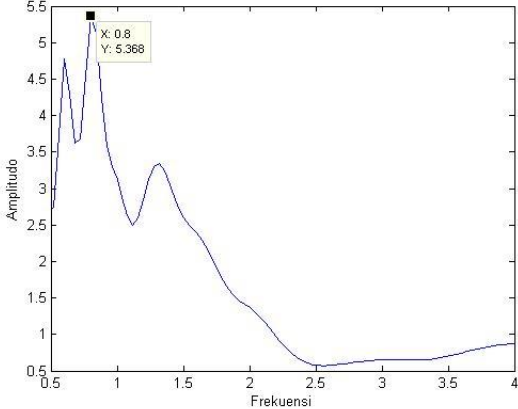
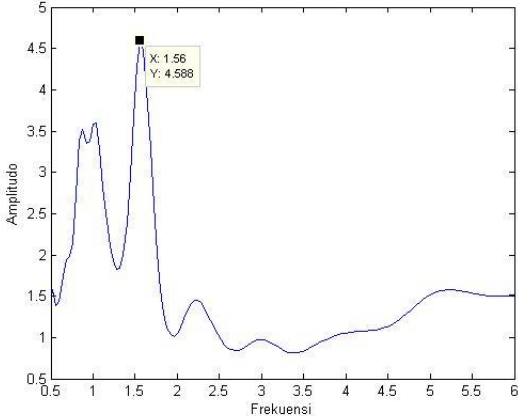
<p style="text-align: center;">23</p>  <p>Kurva HVSr</p> <p>Y-axis: HV (0.5 to 3) X-axis: Frekuensi (0 to 14)</p> <p>Peak data: X: 10.52, Y: 2.099</p>	<p>$f = 10,53$ $A = 2,099$</p> <p>Kriteria Reliabel</p> <ol style="list-style-type: none"> $10,53 > 0,4$ $8687 > 200$ $0,349 < 2$ <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ol style="list-style-type: none"> $1,286 < 1,050$ $1,732 < 1,050$ $2,099 > 2$ Terpenuhi $4,567 < 0,527$ $0,349 < 1,580$ <p>Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.</p>
<p style="text-align: center;">24</p>  <p>Y-axis: Amplitudo (0.5 to 4.5) X-axis: Frekuensi (0 to 10)</p> <p>Peak data: X: 7.64, Y: 4.345</p>	<p>$f = 7,64$ $A = 4,345$</p> <p>Kriteria Reliabel</p> <ol style="list-style-type: none"> $7,64 > 0,4$ $4966 > 200$ $0,871 < 2$ <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ol style="list-style-type: none"> $2,901 < 2,173$ $4,428 < 2,173$ $4,345 > 2$ Tidak terpenuhi $3,320 < 0,382$ $0,871 < 1,580$ <p>Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan.</p>

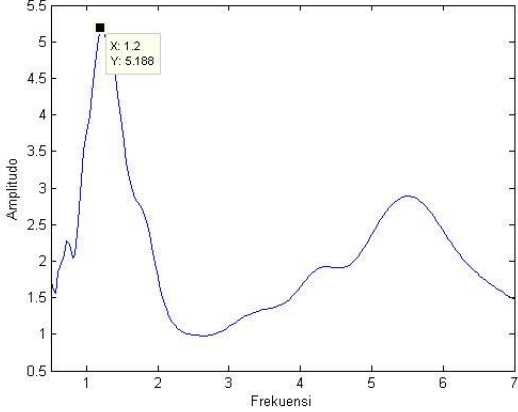
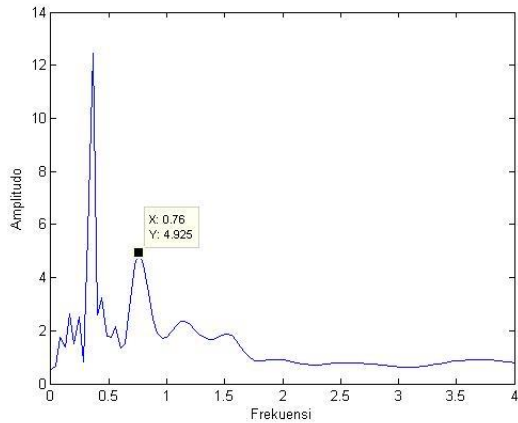
<p style="text-align: center;">25</p> 	<p> $f = 0,88$ $A = 4,191$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $0,88 > 0,4$ ii. $1166 > 200$ iii. $0,882 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $2,811 < 2,096$ ii. $2,151 < 2,096$ iii. $4,191 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. $0,664 < 0,132$ vi. $0,882 < 2$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">26</p> 	<p> $f = 4,6$ $A = 3,423$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $4,6 > 0,4$ ii. $2300 > 200$ iii. $0,377 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $3,222 < 1,712$ ii. $1,159 < 1,712$ iii. $3,423 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. $0,260 < 0,230$ vi. $0,377 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

<p style="text-align: center;">28</p> 	<p> $f = 4,6$ $A = 3,423$ Kriteria Reliabel <ol style="list-style-type: none"> $4,6 > 0,4$ $2300 > 200$ $0,377 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> $3,222 < 1,712$ $1,159 < 1,712$ $3,423 > 2$ Tidak terpenuhi $0,260 < 0,230$ $0,377 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">30</p> 	<p> $f = 1,04$ $A = 7,448$ Kriteria Reliabel <ol style="list-style-type: none"> $1,04 > 0,4$ $1196 > 200$ $2,217 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> $4,267 < 3,724$ $1,881 < 3,724$ $7,448 > 2$ Tidak terpenuhi $0,468 < 0,104$ $2,217 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

<p style="text-align: center;">31</p> 	<p> $f = 0,76$ $A = 4,527$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $0,76 > 0,4$ ii. $1330 > 200$ iii. $0,673 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $3,336 < 2,246$ ii. $2,636 < 2,246$ iii. $4,527 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. $0,548 < 0,114$ vi. $0,673 < 2$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">34</p> 	<p> $f = 17,52$ $A = 2,399$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $17,52 > 0,4$ ii. $14454 > 200$ iii. $0,287 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $1,710 < 1,200$ ii. $1,943 < 1,200$ iii. $2,399 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. $0,687 < 0,876$ vi. $0,287 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Formasi Semilir Batuan Dasar : Perselingan antara breksi-tuf, breksi batuapung, tuf dasit dan tuf andesit serta batu lempung tufan </p>

<p style="text-align: center;">36</p> 	<p> $f = 1,84$ $A = 4,784$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $1,84 > 0,4$ ii. $1472 > 200$ iii. $1,060 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $3,212 < 2,392$ ii. $2,301 < 2,392$ iii. $4,784 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. $0,606 < 0,184$ vi. $1,060 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Formasi Semilir Batuan Dasar : Perselingan antara breksi-tuf, breksi batuapung, tuf dasit dan tuf andesit serta batu lempung tufan </p>
<p style="text-align: center;">38</p> 	<p> $f = 17,52$ $A = 3,305$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $17,52 > 0,4$ ii. $12702 > 200$ iii. $0,820 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $2,228 < 1,653$ ii. $2,347 < 1,653$ iii. $3,305 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. $0,629 < 0,876$ vi. $0,820 < 1,580$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Formasi Semilir Batuan Dasar : Perselingan antara breksi-tuf, breksi batuapung, tuf dasit dan tuf andesit serta batu lempung tufan. </p>

<p style="text-align: center;">40</p> 	<p> $f = 0,8$ $A = 5,368$ Kriteria Reliabel <ol style="list-style-type: none"> $0,8 > 0,4$ $640 > 200$ $1,045 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> $3,405 < 2,684$ $1,747 < 2,684$ $5,368 > 2$ Tidak terpenuhi $0,768 < 0,080$ $1,045 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">41</p> 	<p> $f = 1,56$ $A = 4,588$ Kriteria Reliabel <ol style="list-style-type: none"> $1,56 > 0,4$ $1755 > 200$ $1,036 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> $2,514 < 2,294$ $1,322 < 2,294$ $4,588 > 2$ Tidak terpenuhi $0,849 < 0,156$ $1,036 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>

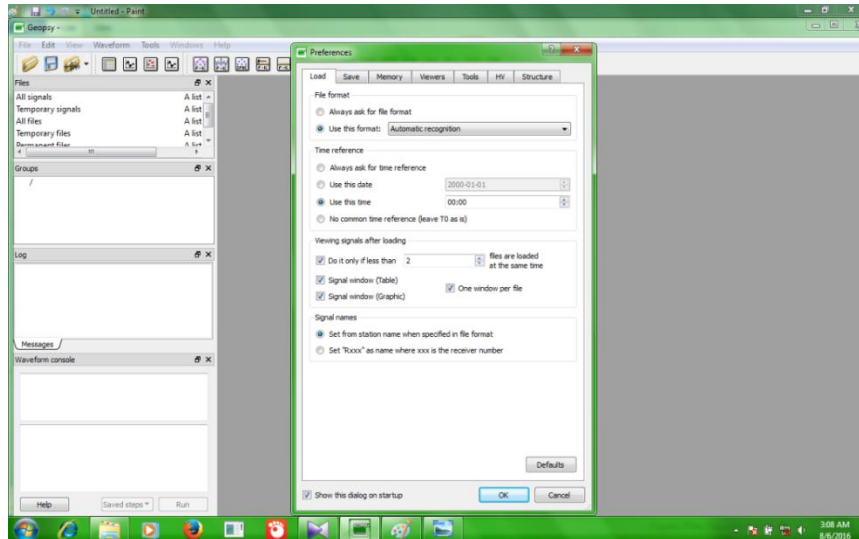
<p style="text-align: center;">43</p> 	<p> $f = 1,2$ $A = 5,188$ Kriteria Reliabel <ol style="list-style-type: none"> i. $1,2 > 0,4$ ii. $1140 > 200$ iii. $1,334 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $3,037 < 2,594$ ii. $1,887 < 2,594$ iii. $5,188 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. $0,860 < 0,120$ vi. $1,334 < 1,780$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. </p>
<p style="text-align: center;">45</p> 	<p> $f = 0,76$ $A = 4,925$ Kriteria Reliabel <ol style="list-style-type: none"> i. $0,76 > 0,4$ ii. $228 > 200$ iii. $0,457 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $3,303 < 2,463$ ii. $1,357 < 2,463$ iii. $4,925 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. $0,941 < 0,114$ vi. $0,457 < 2$ Informasi Lokasi Formasi Geologi : Endapan Merapi Muda Batuan Dasar : Tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan </p>

LAMPIRAN IV

TAHAP-TAHAP PENGOLAHAN DATA

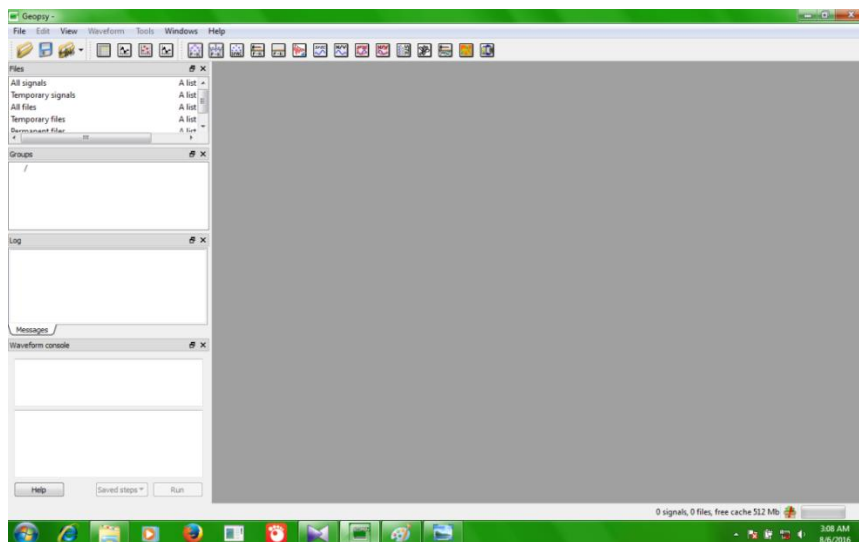
A. Menganalisis Data Mikrotremor Menggunakan *software Sesaray-Geopsy*

1. Membuka aplikasi *software Sesaray-Geopsy*, maka akan muncul:



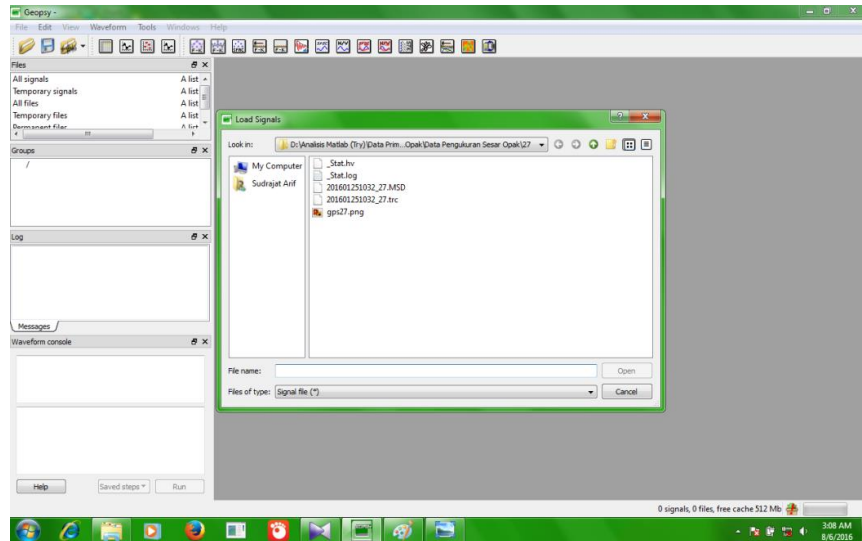
Gambar L1. Tampilan awal *software Sesaray-Geopsy*

2. Klik *Oke*, maka akan muncul:



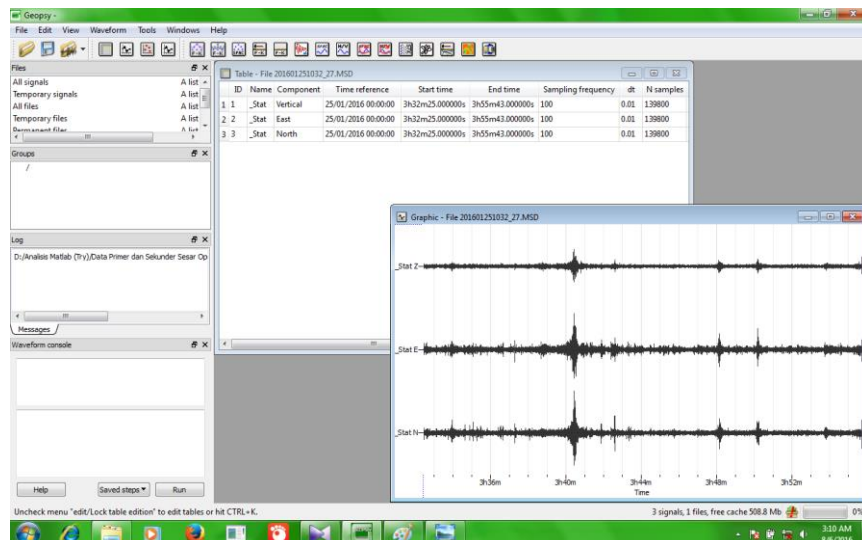
Gambar L2. Tampilan setelah memilih *Oke* pada kotak *Preferences*.

3. Klik *Import Signals*, kemudian mencari file penyimpanan data titik pengukuran, dipilih bentuk MSD kemudian klik *Open*.



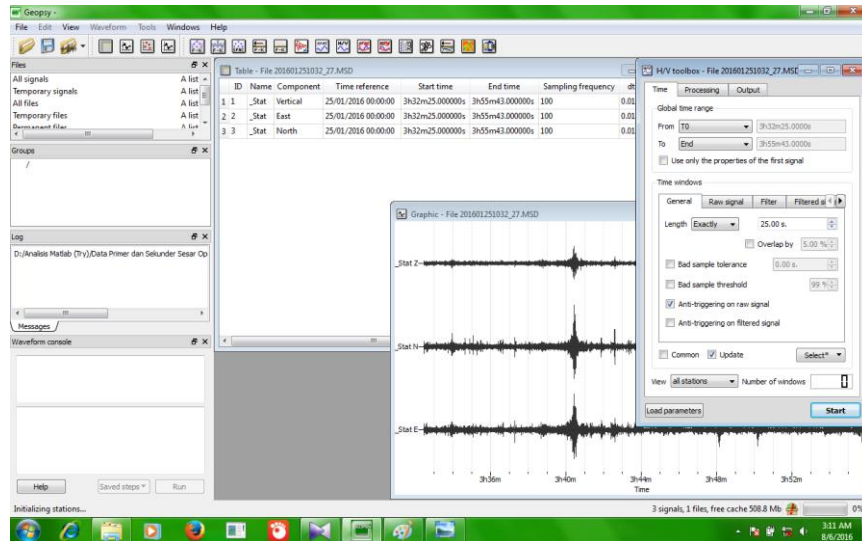
Gambar L3. Proses memilih data untuk analisis HVSR

4. Maka akan muncul gambar sebagai berikut:



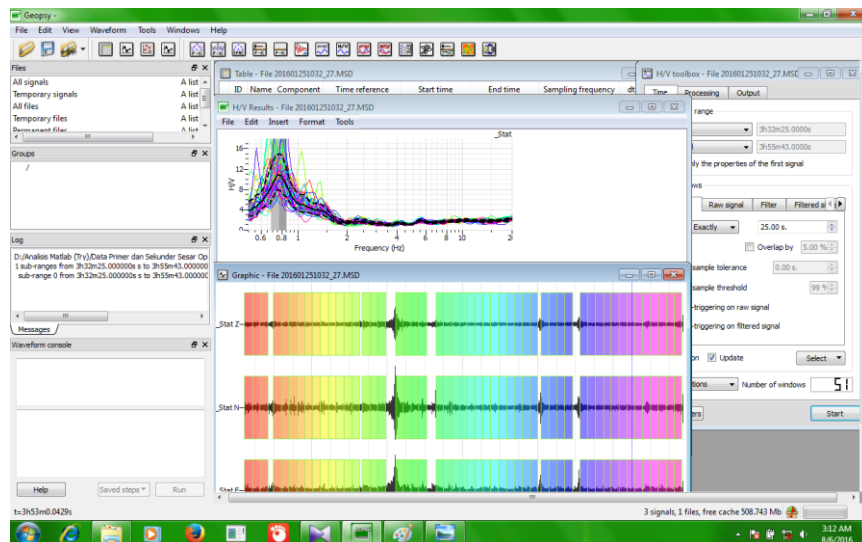
Gambar L4. Tampilan data gelombang saat analisis HVSR

5. Klik kotak H/V pada *toolbar*, maka akan muncul H/V *toolbox*. Klik *select* pilih *add* kemudian pada kotak grafik dipilih *window* yang *noisenya* sedikit.



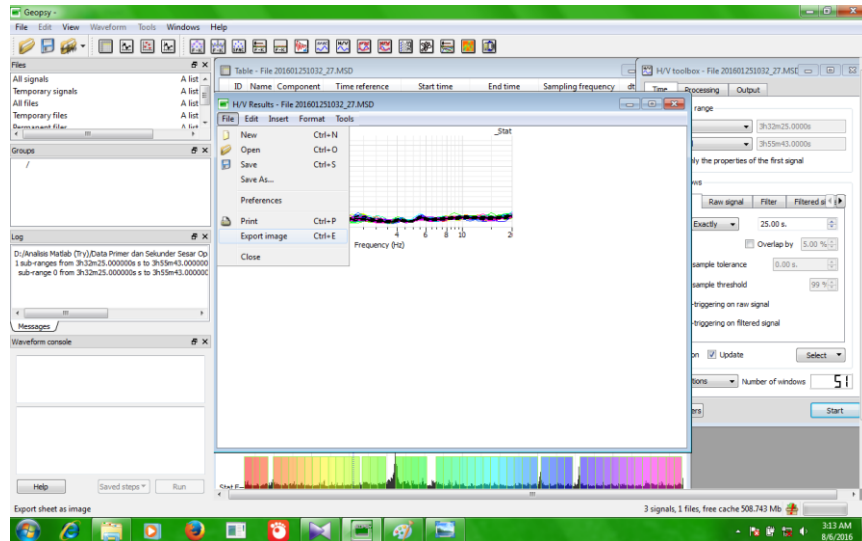
Gambar L5. Contoh rekaman data mikrotremor 3 komponen

6. Klik *Start* maka akan muncul grafik seperti gambar berikut.



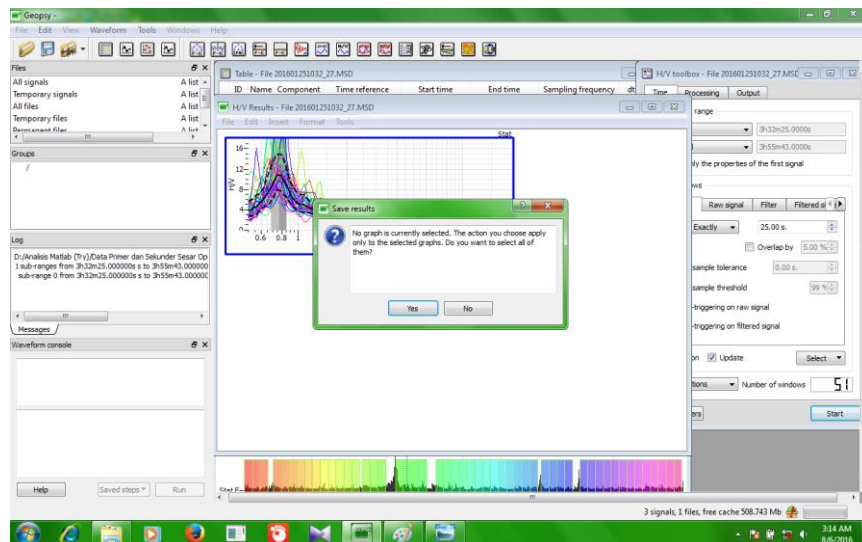
Gambar L6. Tampilan hasil analisis HVSr

7. Untuk menyimpan gambar klik *file*, pilih *Export Image*. Pilih lokasi penyimpanan gambar, jenis gambar dan nama gambar.



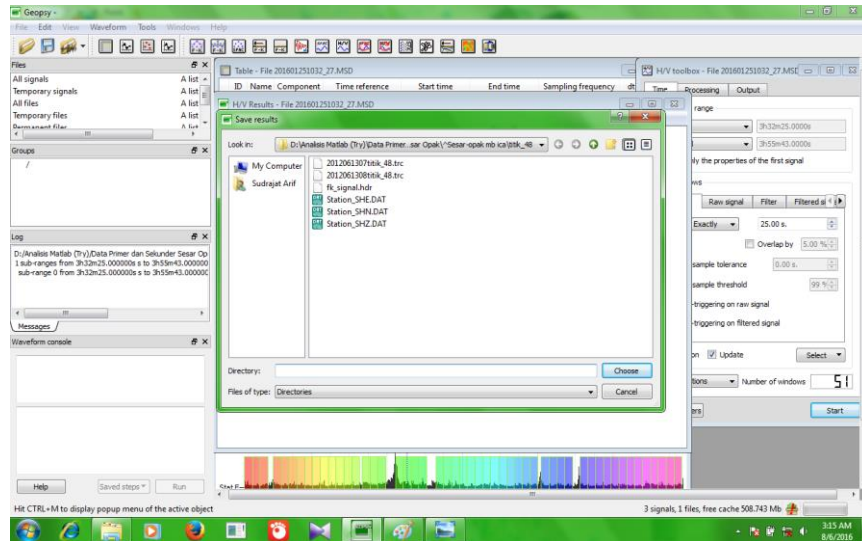
Gambar L7. Proses penyimpanan file dalam format .hv

8. Klik *Tools*, pilih *Save Results*, klik *Oke*.



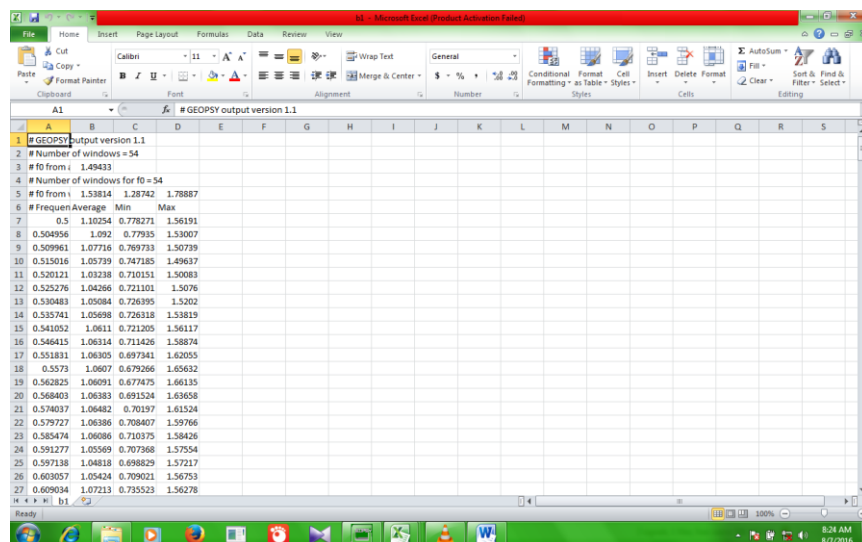
Gambar L8. Tampilan menyimpan hasil analisis HVSR

9. Klik *Choose*.



Gambar L9. Tampilan memilih lokasi penyimpanan file

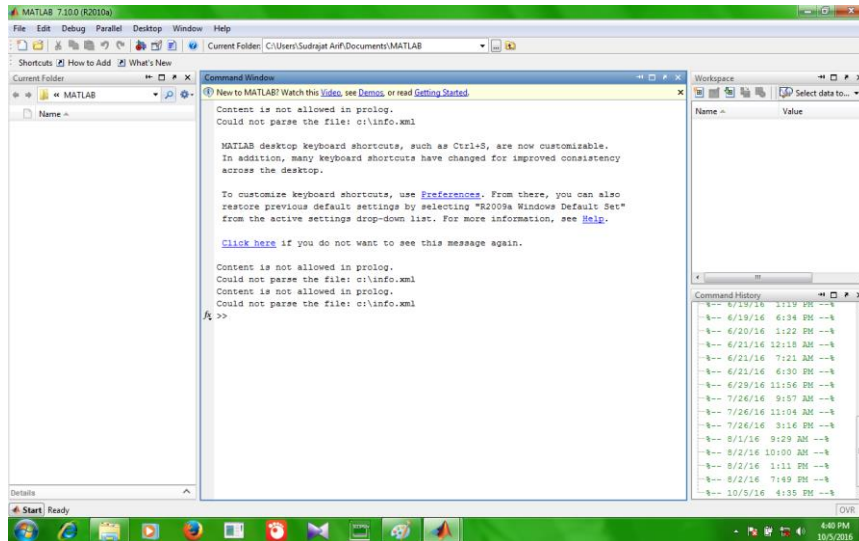
10. Hal ini untuk menyimpan hasil nilai grafik tersebut dan dapat dilihat menggunakan *Microsoft Excel*.



Gambar L10. Tampilan file format .hv pada *software Microsoft Excel*

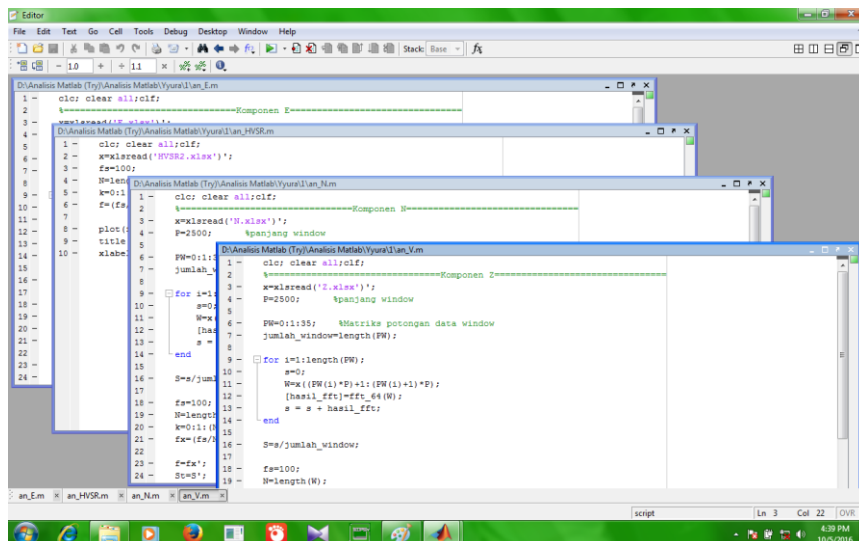
B. Menganalisis Data Mikrotremor Menggunakan *software Matlab R2010a*

1. Membuka aplikasi *Matlab R2010a*, maka akan muncul:



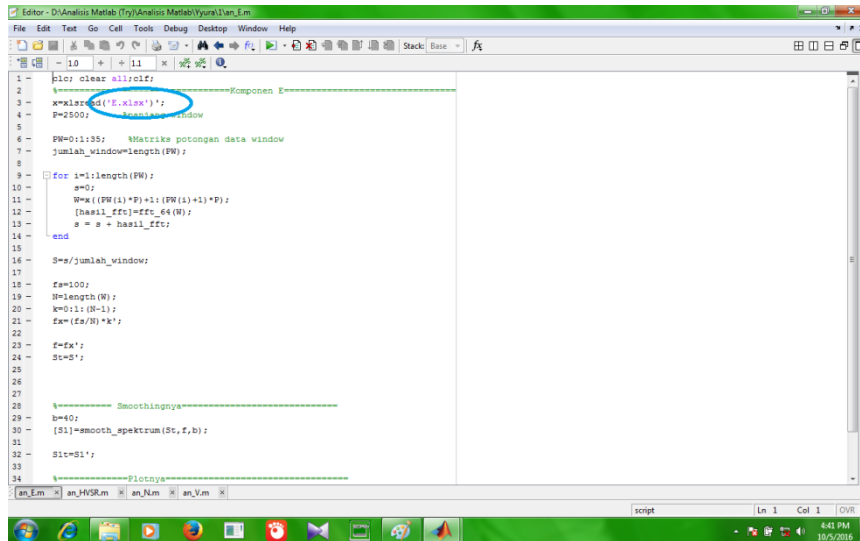
Gambar L11. Tampilan awal software *Matlab R2010a*

2. Membuka program analisis yang sudah dibuat. Program analisis berisikan algoritma *windowing*, FFT, dan *smoothing Konno-Ohmachi* untuk mendapatkan spektrum satu komponen mikrotremor. Sedangkan program dibawah ini diberlakukan untuk file “E.xls, N.xls, Z.xls dan HVSR.xls”.



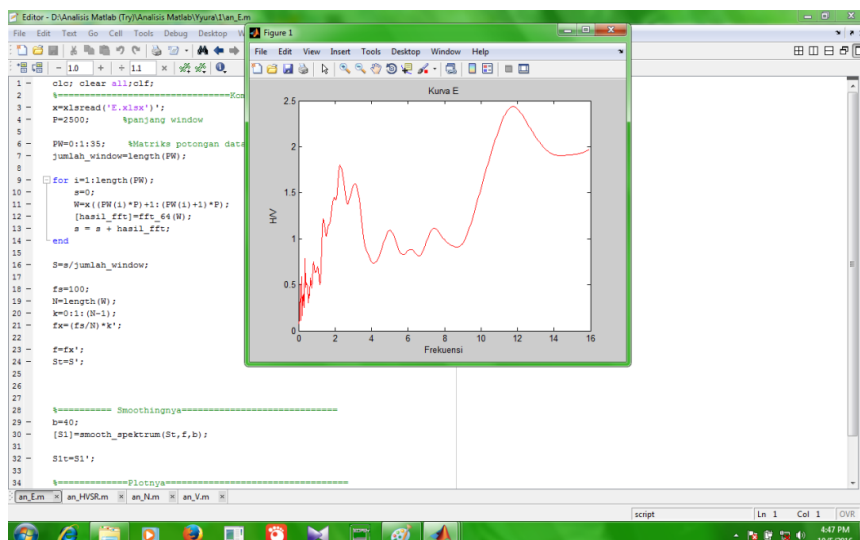
Gambar L12. Tampilan program matlab untuk analisis HVSR

3. Dalam hal ini program yang dijalankan untuk file “E.xls”.



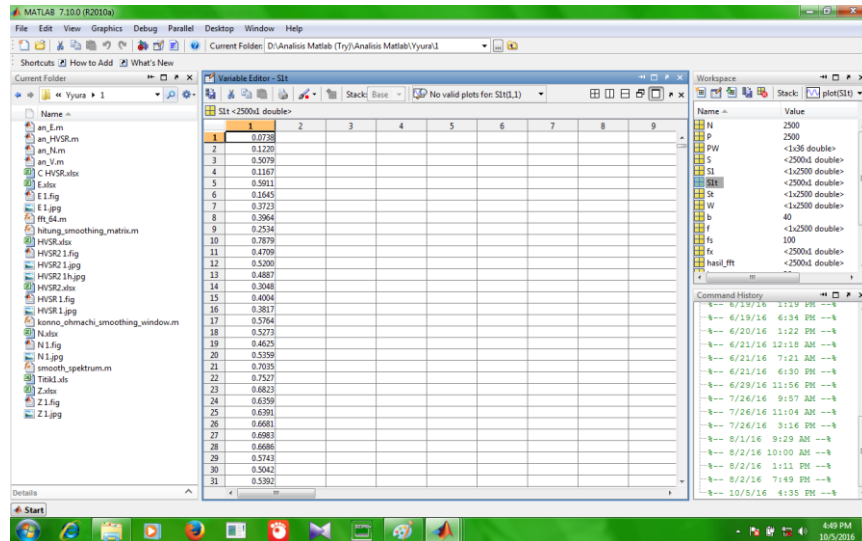
Gambar L12. Contoh program matlab untuk komponen E

4. Program dijalankan dengan menekan panel *run*, akan diperoleh kurva spektrum *Fourier* seperti gambar berikut.



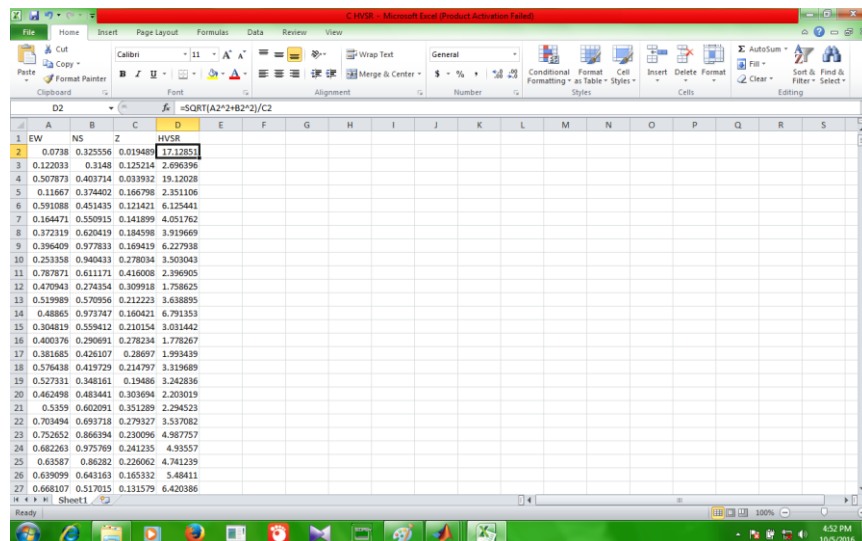
Gambar L13. Tampilan hasil analisis HVSR berupa kurva komponen E

5. Selain grafik di atas, didapatkan pula nilai-nilai *amplitude spectrum Fourier* yang akan digunakan untuk analisa HVSR. Hasil tersebut disalin dalam *Microsoft Excel*.



Gambar L14. Tampilan nilai-nilai *amplitude spectrum Fourier* komponen E

6. Langkah 5 sampai 6 diulangi untuk file “N.xls” dan “Z.xls” untuk mendapatkan spektrum *Fourier* mikrotremor komponen horizontal *North-South* dan Vertikal.
7. Data nilai-nilai amplitudo disalin dan disatukan dalam *Microsoft Excel*.

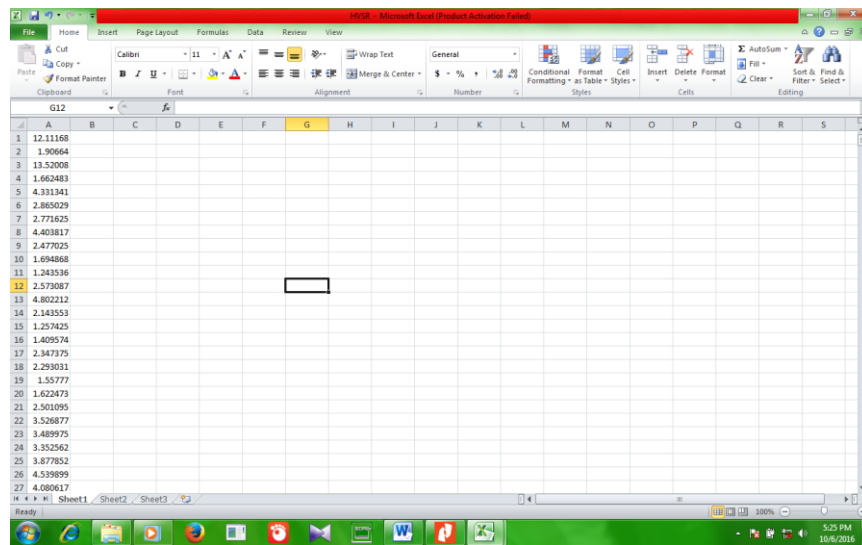


Gambar L15. Tampilan nilai amplitudo dalam *Microsoft Excel*

8. Nilai-nilai HVSR didapatkan melalui persamaan berikut.

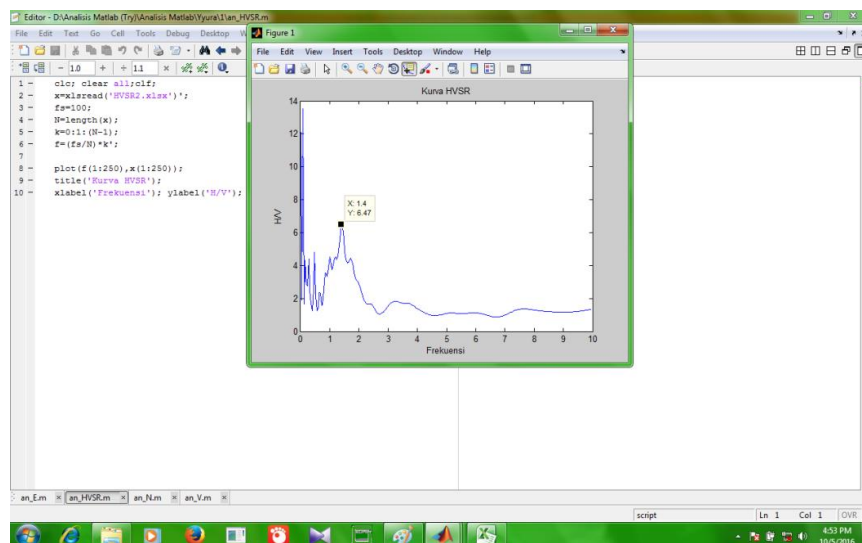
$$HVSR = \frac{\sqrt{[(EW)^2 + (NS)^2] / 2}}{V}$$

9. Nilai HVSR disalin dalam *file* tersendiri dengan nama “HVSR.xls” seperti gambar berikut.



Gambar L16. Tampilan file HVSR dalam *Microsoft Excel*

10. Kurva HVSR didapatkan dari *run* program HVSR menggunakan *software Matlab R2010a* dan didapatkan hasil sebagai berikut.

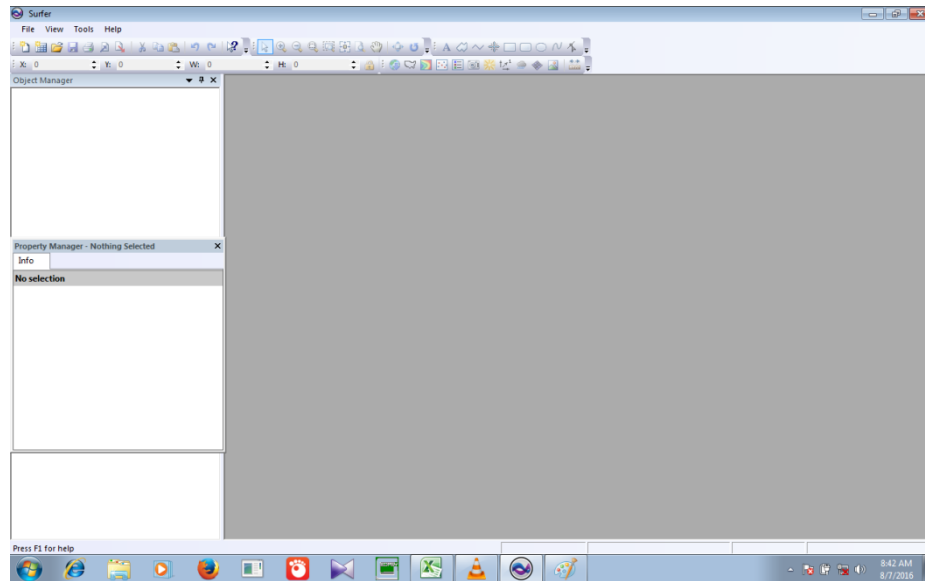


Gambar L17

11. Proses 1-10 berlaku untuk semua data mikrotremor hasil penelitian 86 titik.

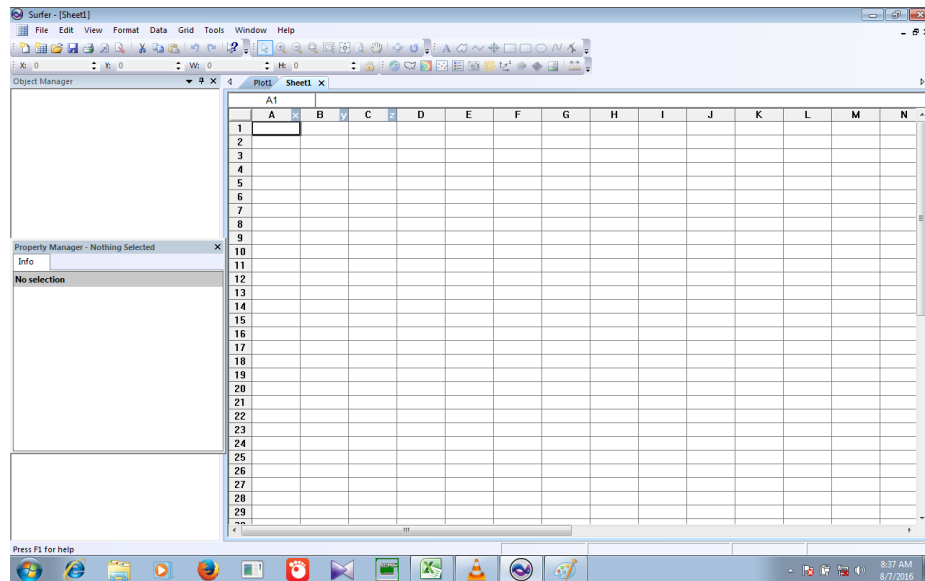
C. Pembuatan peta pemodelan menggunakan *software Surfer 12*

1. Membuka aplikasi *software Surfer 12*, maka akan muncul:



Gambar L18. Tampilan awal *software surfer 12*

2. Klik *File* → *New* → *Worksheet*, maka tampilannya akan seperti di bawah ini.



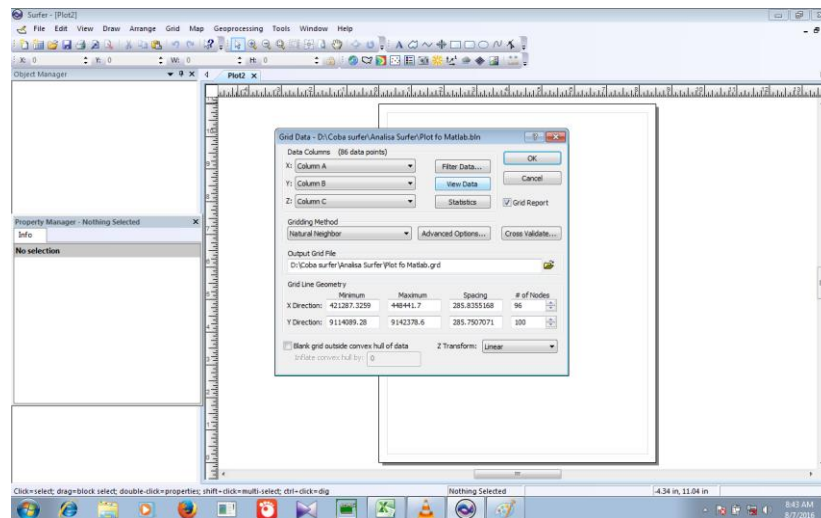
Gambar L19. Tampilan *worksheet* pada *software Surfer 12*

3. Pada kolom X diisi data *Longitude*, kolom Y diisi data *Latitude*, dan kolom Z diisi dengan data yang akan dibuat peta pemodelannya, misalnya data frekuensi dominan.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	432284.32	9127768.2	1.44											
2	432518.76	9127014.5	3.24											
3	432464.12	9127313.3	9.48											
4	430959.83	9127047.0	3.6											
5	430969.23	9124748.8	1.28											
6	429517.65	9123798.1	2.84											
7	428692.41	9124628.4	3											
8	428798.36	9122301.2	1.76											
9	429997.23	9126372.1	3.16											
10	432089.44	9126366.4	3.12											
11	431131.82	9124949.5	4.16											
12	431235.00	9124873.5	2.64											
13	428470.62	9119851.0	2.04											
14	427202.33	9114964.2	3.4											
15	422106.45	9114089.3	1.12											
16	424092.74	9117573.1	1.2											
17	421287.33	9116279.0	1.64											
18	422679.37	9118915.8	1.72											
19	422589.27	9117352.4	0.64											
20	426361.80	9121555.8	1											
21	427498.00	9121783.5	4.48											
22	427415.07	9122530.2	2.8											
23	428316.96	9121502.1	4											
24	428459.96	9123599.1	1.96											
25	429344.89	9124436.1	1.2											
26	429400.15	9125535.4	1.2											
27	430377.78	9121496.9	1.12											
28	430493.01	9122674.0	1.08											
29	431012.91	9123641.4	0.6											

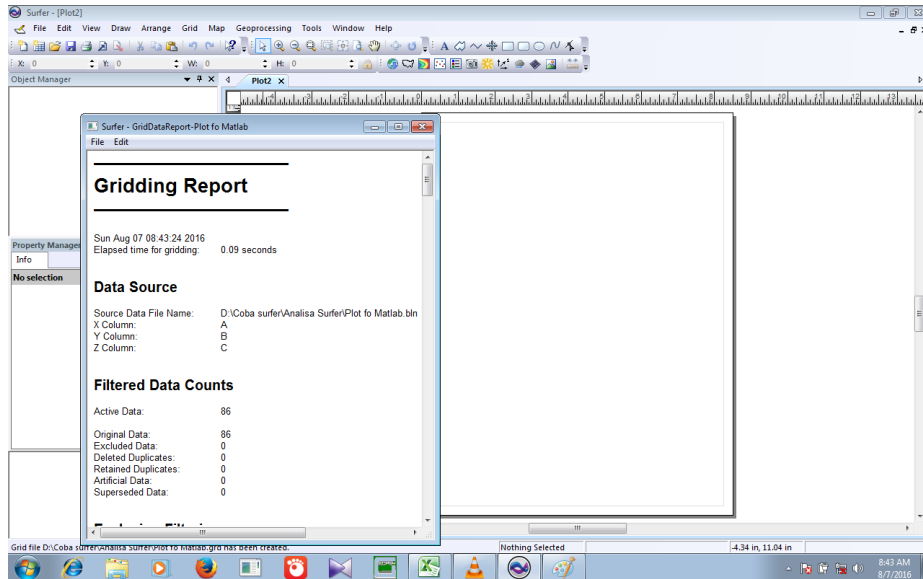
Gambar L20. Tampilan *worksheet* pemodelan frekuensi predomnan

4. Save dalam bentuk BLN.
5. Klik *File* → *New* → *Plot*.
6. Plih *Grid* → *Data* → pilih data bln → *Open* → *Oke*, maka menghasilkan *file* tipe GRD.



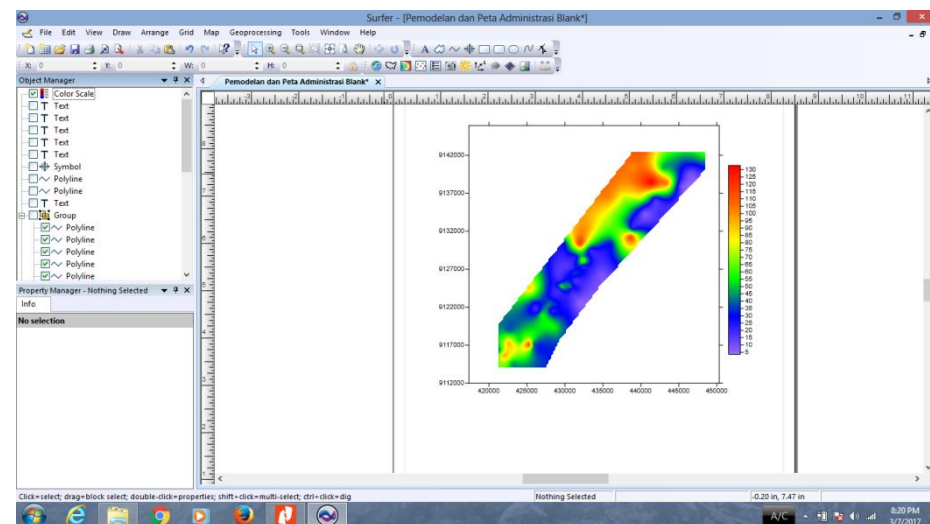
Gambar L21. Tampilan pengaturan file tipe GRD

7. *Save Data Report*
8. *Map* → *New* → *Image Map* → pilih data *GRD* → *Open*



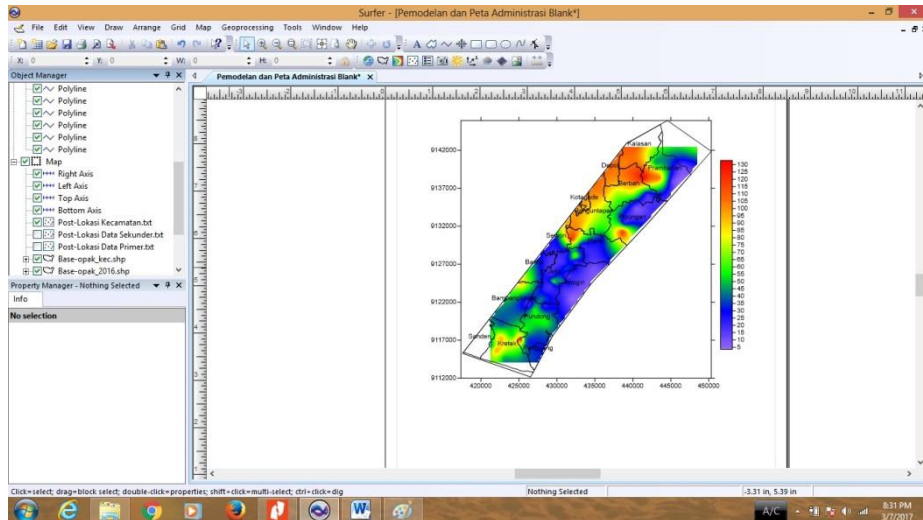
Gambar L22. Tampilan membuka file GRD

9. Mengubah warna image, klik *Image* → *General* → *Colors* → pilih warna tema yang diinginkan. Klik *Interpolate Pixels* → *Show Color Scale*.



Gambar L23. Tampilan contoh peta pemodelan

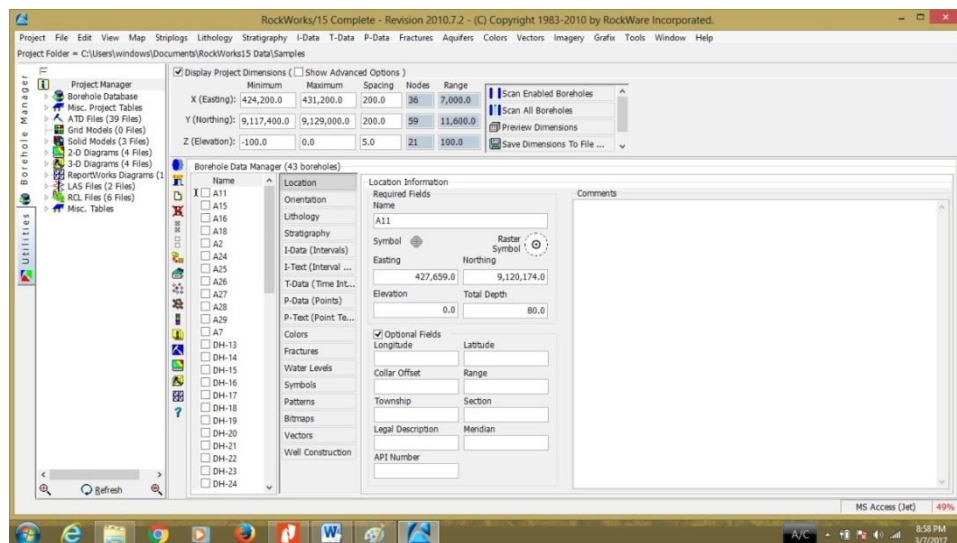
10. Menambahkan peta, klik *Map* → *New* → *Base Map*, pilih peta yang akan ditambahkan. Mengkompail peta, blog semua peta → *Map* → *Overlay Map*



Gambar L24. Tampilan menambahkan peta ke dalam pemodelan

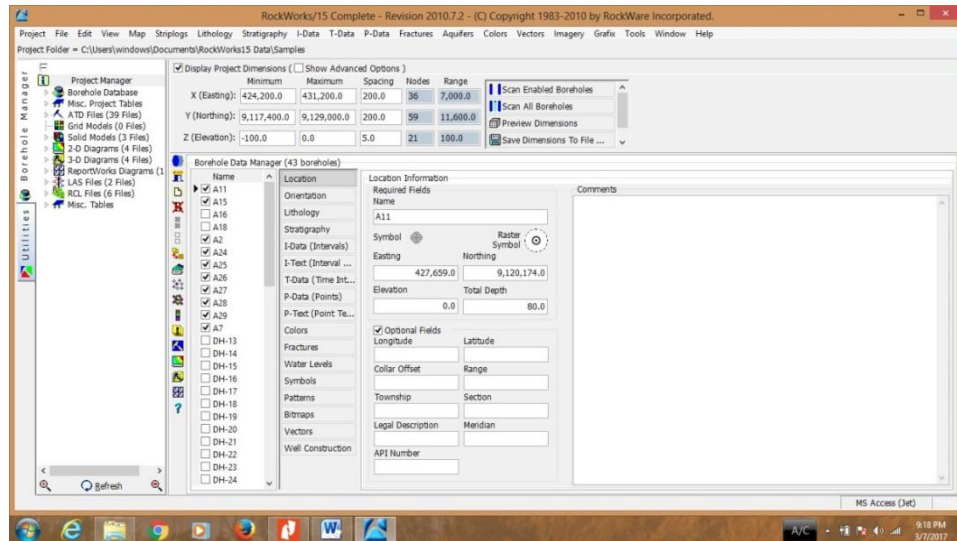
D. Menganalisis data bor menggunakan *software Rockwork 15*

1. Membuka *software Rockwork 15*, maka akan muncul:



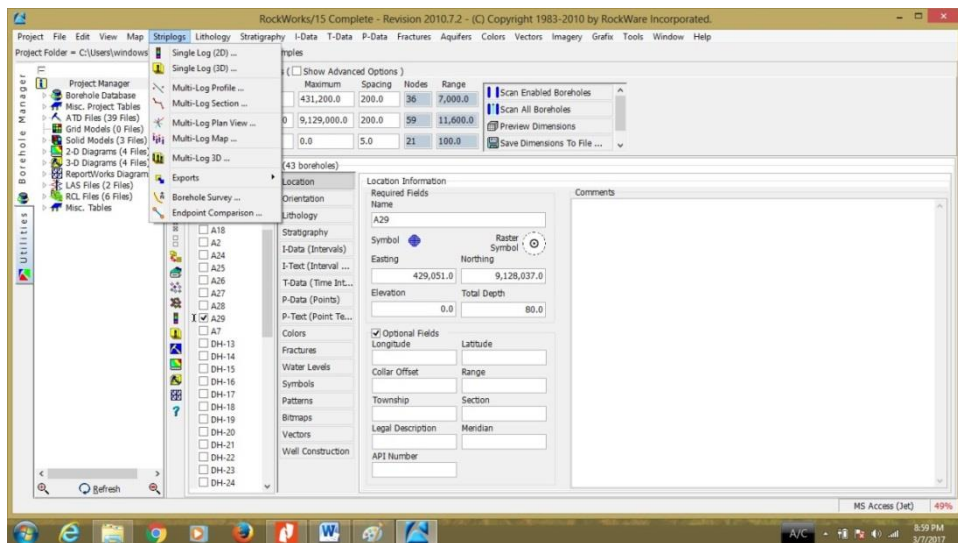
Gambar L25. Tampilan awal *software Rockwork 15*

2. Mengisi kolom *borehole* sesuai dengan data bor yang akan digunakan



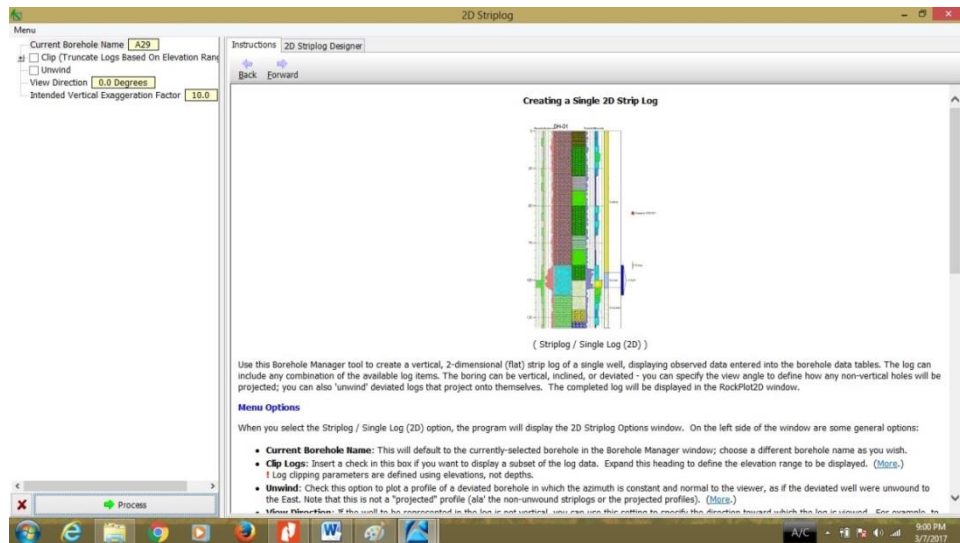
Gambar L26. Tampilan pengisian data *borehole*

- a. Membuat pemodelan validasi data bor
3. Setelah langkah 2, memilih *borehole* (misal A29) yang akan dibuat pemodelan validasi data bornya, lalu pilih *Striplog*.



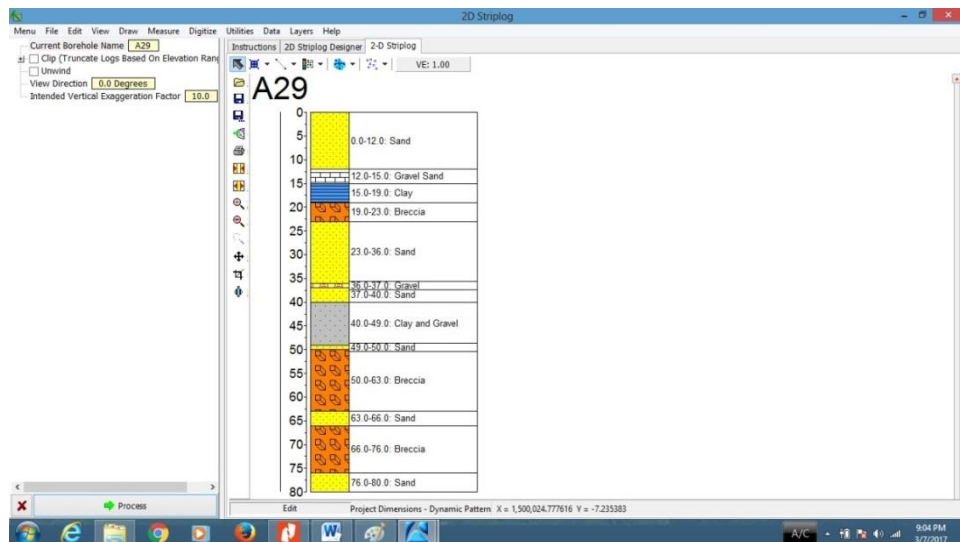
Gambar L27. Tampilan tahap awal proses pembuatan pemodelan *striplog*

4. Klik *Single Log* (2D), maka akan muncul:



Gambar L28. Tampilan menu pemodelan *striplog*

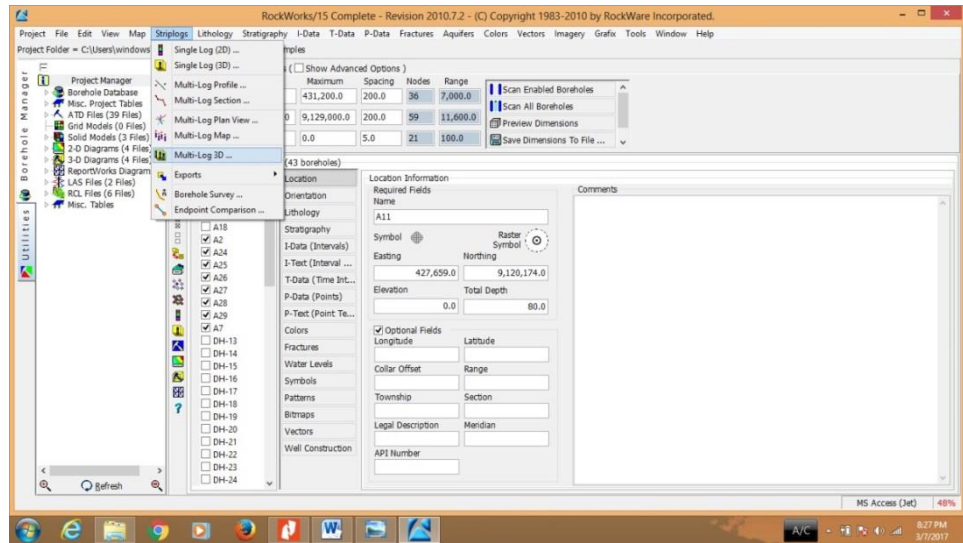
5. Pilih *Process*, akan muncul pemodelan validasi data bor yang diinginkan



Gambar L29. Tampilan hasil pemodelan *striplog*

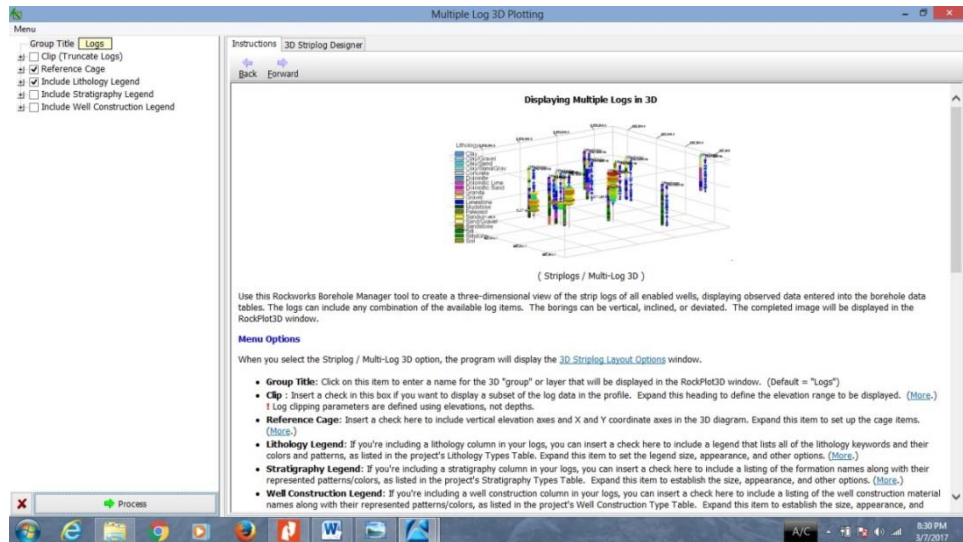
b. Membuat pemodelan tiga dimensi litologi lapisan sedimen

6. Setelah langkah 2, klik *Striplog* pilih *Multi Log 3D*



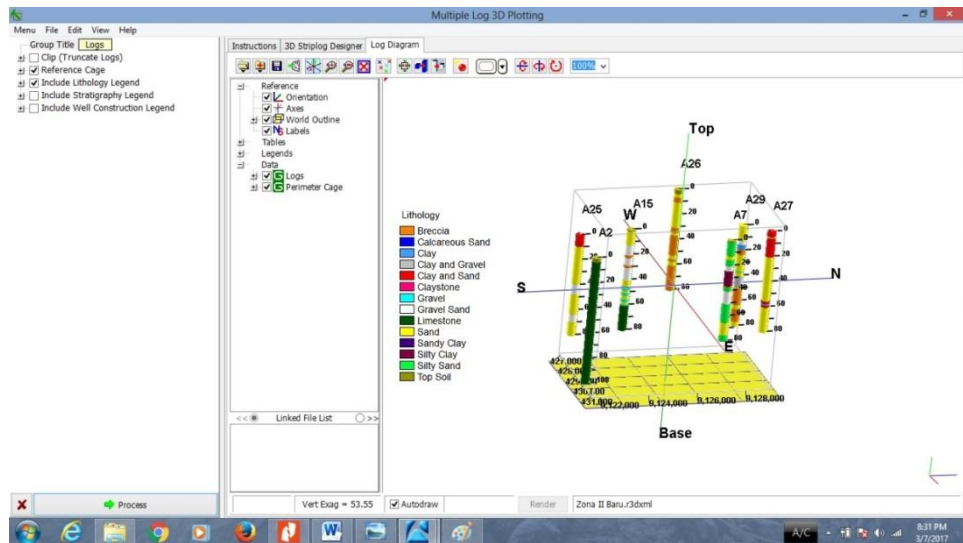
Gambar L30. Tampilan tahap awal pemodelan *multilog* 3D

7. Pilih Process



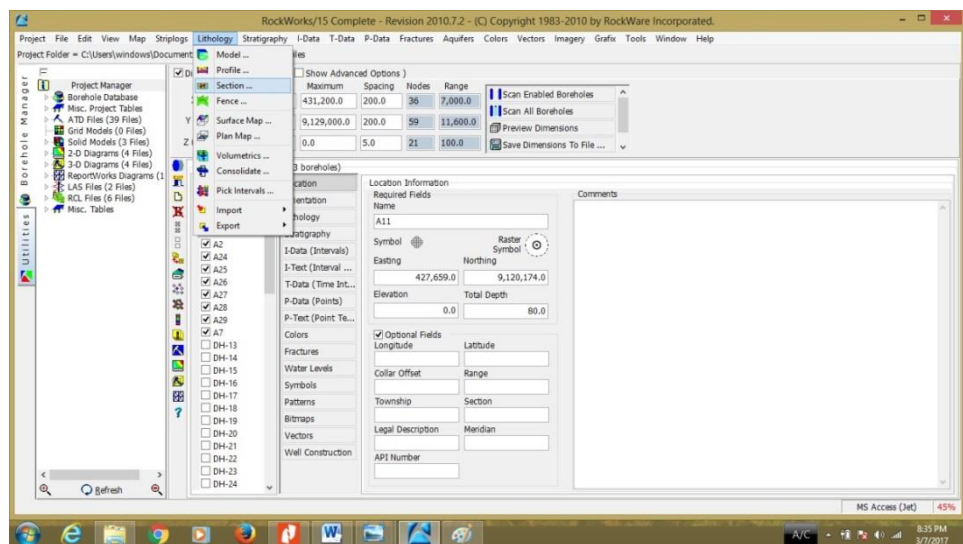
Gambar L31. Tampilan menu pemodelan *multilog* 3D

8. Akan muncul pemodelan tiga dimensi litologi lapisan sedimen

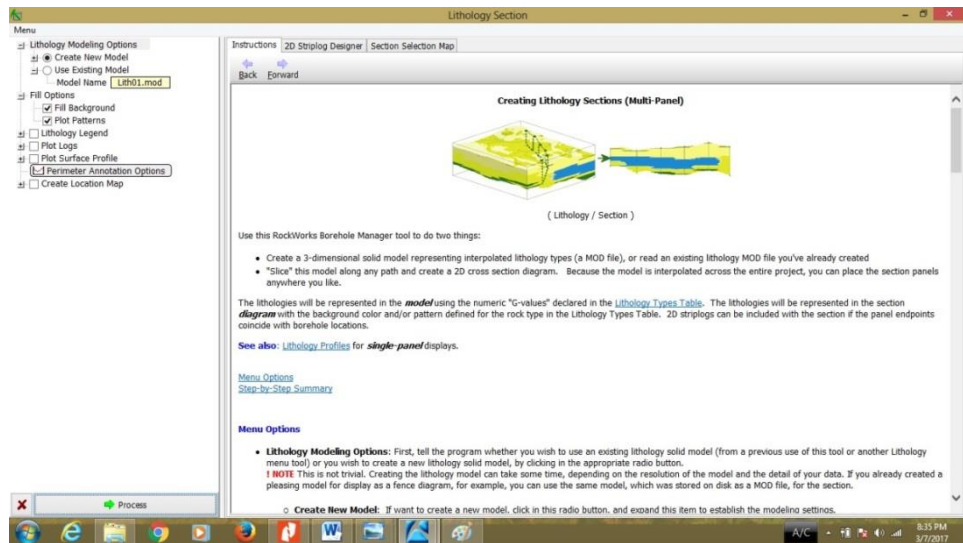


c. Membuat pemodelan dua dimensi litologi lapisan sedimen

9. Setelah langkah dua, memilih *Lithology* klik *section*

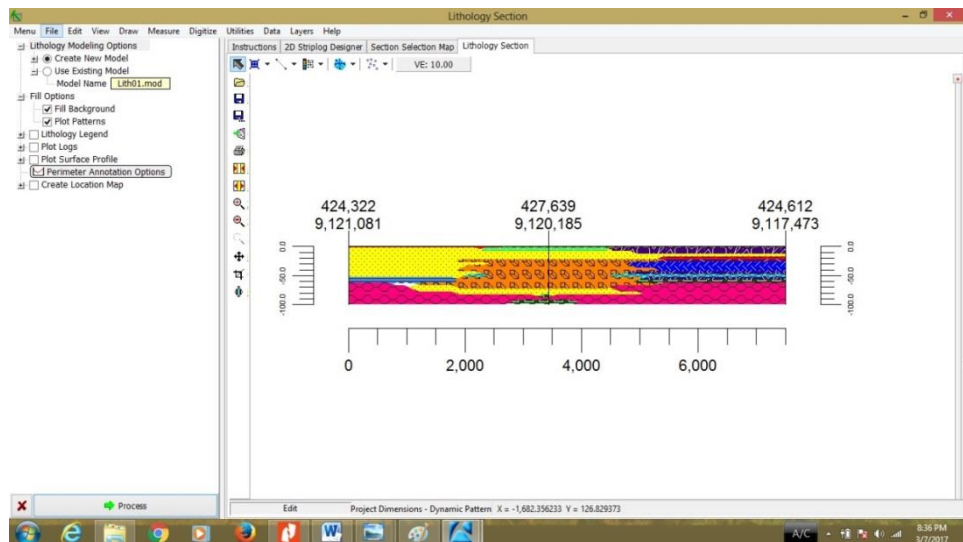


10. Klik *Process*



Gambar L34. Tampilan menu pemodelan *section*

11. Akan muncul pemodelan dua dimensi litologi lapisan sedimen



Gambar L35. Tampilan hasil pemodelan *section*

LAMPIRAN V

PROGRAM ANALISIS DALAM MATLAB

A. Program Utama Analisis Spektrum Fourier

```
clc; clear all;clf;
%=====Komponen
E=====
x=xlsread('E.xlsx');
P=2500;      %panjang window

PW=0:1:53;    %Matriks potongan data window
jumlah_window=length(PW);

for i=1:length(PW);
    s=0;
    W=x((PW(i)*P)+1:(PW(i)+1)*P);
    [hasil_fft]=fft_64(W);
    s = s + hasil_fft;
end

S=s/jumlah_window;

fs=100;
N=length(W);
k=0:1:(N-1);
fx=(fs/N)*k';

f=fx';
St=S';

%===== Smoothingnya=====
b=40;
[S1]=smooth_spektrum(St,f,b);

S1t=S1';

%=====Plotnya=====
%plot(f(1:400),St(1:400),'b'); hold on;
plot(f(1:400),S1(1:400),'r');
title('Kurva E');
xlabel('Frekuensi'); ylabel('H/V');
```

B. Program Fast Fourier Transform (FFT)

```
function [hasil]=fft_64(W)
    %W adalah sinyal input
N=length(W);    %Jumlah data sinyal
r=64;    %radix 64
k=0:(N/r)-1;
n=0:N-1;

%=====FFT RADIX 64=====
```

```

z1=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r)/N)*W(r*k+1)';
z2=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+1)/N)*W(r*k+2)';
z3=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+2)/N)*W(r*k+3)';
z4=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+3)/N)*W(r*k+4)';
z5=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+4)/N)*W(r*k+5)';
z6=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+5)/N)*W(r*k+6)';
z7=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+6)/N)*W(r*k+7)';
z8=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+7)/N)*W(r*k+8)';
z9=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+8)/N)*W(r*k+9)';
z10=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+9)/N)*W(r*k+10)';
z11=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+10)/N)*W(r*k+11)';
z12=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+11)/N)*W(r*k+12)';
z13=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+12)/N)*W(r*k+13)';
z14=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+13)/N)*W(r*k+14)';
z15=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+14)/N)*W(r*k+15)';
z16=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+15)/N)*W(r*k+16)';
z17=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+16)/N)*W(r*k+17)';
z18=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+17)/N)*W(r*k+18)';
z19=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+18)/N)*W(r*k+19)';
z20=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+19)/N)*W(r*k+20)';
z21=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+20)/N)*W(r*k+21)';
z22=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+21)/N)*W(r*k+22)';
z23=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+22)/N)*W(r*k+23)';
z24=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+23)/N)*W(r*k+24)';
z25=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+24)/N)*W(r*k+25)';
z26=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+25)/N)*W(r*k+26)';
z27=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+26)/N)*W(r*k+27)';
z28=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+27)/N)*W(r*k+28)';
z29=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+28)/N)*W(r*k+29)';
z30=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+29)/N)*W(r*k+30)';
z31=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+30)/N)*W(r*k+31)';
z32=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+31)/N)*W(r*k+32)';
z33=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+32)/N)*W(r*k+33)';
z34=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+33)/N)*W(r*k+34)';
z35=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+34)/N)*W(r*k+35)';
z36=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+35)/N)*W(r*k+36)';
z37=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+36)/N)*W(r*k+37)';
z38=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+37)/N)*W(r*k+38)';
z39=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+38)/N)*W(r*k+39)';
z40=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+39)/N)*W(r*k+40)';
z41=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+40)/N)*W(r*k+41)';
z42=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+41)/N)*W(r*k+42)';
z43=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+42)/N)*W(r*k+43)';
z44=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+43)/N)*W(r*k+44)';
z45=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+44)/N)*W(r*k+45)';
z46=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+45)/N)*W(r*k+46)';
z47=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+46)/N)*W(r*k+47)';
z48=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+47)/N)*W(r*k+48)';
z49=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+48)/N)*W(r*k+49)';
z50=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+49)/N)*W(r*k+50)';
z51=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+50)/N)*W(r*k+51)';
z52=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+51)/N)*W(r*k+52)';
z53=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+52)/N)*W(r*k+53)';
z54=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+53)/N)*W(r*k+54)';
z55=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+54)/N)*W(r*k+55)';
z56=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+55)/N)*W(r*k+56)';

```

```

z57=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+56)/N)*W(r*k+57)';
z58=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+57)/N)*W(r*k+58)';
z59=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+58)/N)*W(r*k+59)';
z60=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+59)/N)*W(r*k+60)';
z61=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+60)/N)*W(r*k+61)';
z62=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+61)/N)*W(r*k+62)';
z63=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+62)/N)*W(r*k+63)';
z64=exp(-1i*2*pi*n'*(k*r+63)/N)*W(r*k+64)';

z=z1+z2+z3+z4+z5+z6+z7+z8+z9+z10+z11+z12+z13+z14+z15+z16+z17+z18+z
19+z20+z21+z22+z23+z24+z25+z26+z27+z28+z29+z30+z31+z32+z33+z34+z35
+z36+z37+z38+z39+z40+z41+z42+z43+z44+z45+z46+z47+z48+z49+z50+z51+z
52+z53+z54+z55+z56+z57+z58+z59+z60+z61+z62+z63+z64;

hasil=abs(2*z/N);

```

```
end
```

C. Program Smoothing Konno-Ohmachi

```

function [smooth_window]=konno_ohmachi_smoothing_window(f,f_c,b)
    %Konno&Ohmachi smoothing using MATLAB by kholis.nh
    %f == matrix frekuensi
    %fc == center frequency
    %b == konno-ohmachi bandwidth
    l=length(f);
    %apabila f_c=0 buat matriks 0 sepanjang l, kecuali suku
    pertama yg
    %bernilai 1
    if f_c==0
        smooth_window=zeros(1,l);
        smooth_window(1)=1;
        smooth_window=smooth_window/sum(smooth_window);
    else
        smooth_window=(sin(b*log10(f./f_c))./(b*log10(f./f_c))).^4;
        %mengganti inf dengan 1
        posisi_fc= f==f_c;
        smooth_window(posisi_fc)=1;
        %mengganti NaN dengan 0
        posisi_NaN= isnan(smooth_window);
        smooth_window(posisi_NaN)=0;
        smooth_window=smooth_window/sum(smooth_window);
    end
end

```

D. Program Plotting Kurva HVSR

```

clc; clear all;clf;
Y=xlsread('HVSr.xlsx');
X=Y(1:length(Y));
N=2500;
dt=1/100;
T=N*dt;
r=64;
k=0:1:N-1;
f=k*1/T;
fa=f';
A=Y;

```

```
b=40;

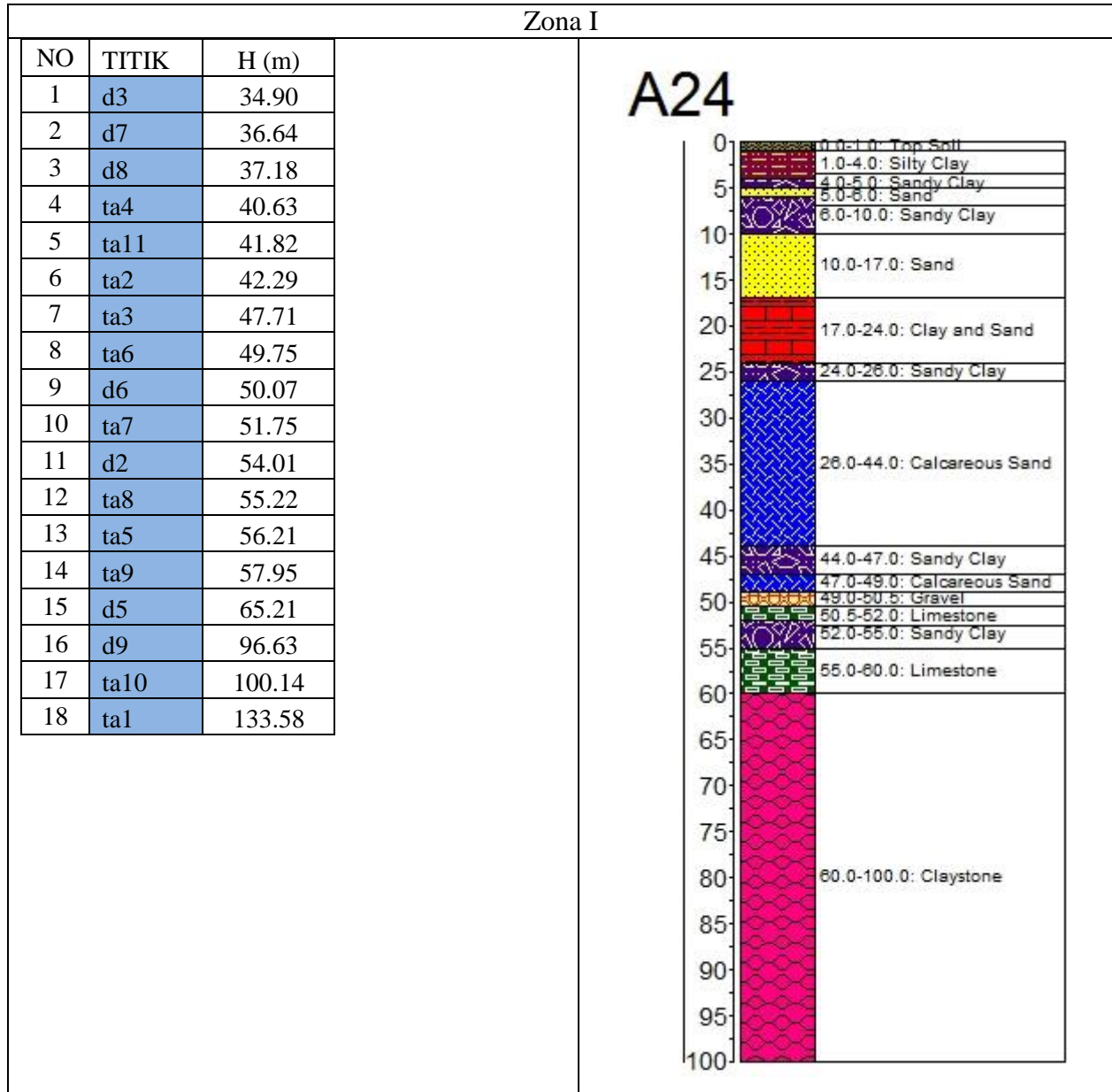
St=X';
[S1]=smooth_spektrum(St,f,b);

S1t=S1';

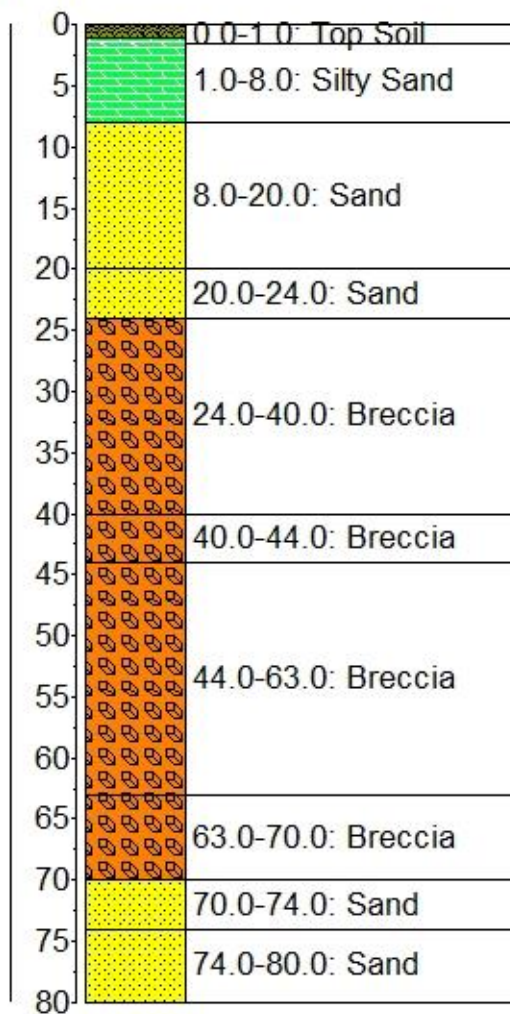
plot(f(1:300),S1(1:300),'b');
xlabel('Frekuensi');
ylabel('Amplitudo');
```

LAMPIRAN VI

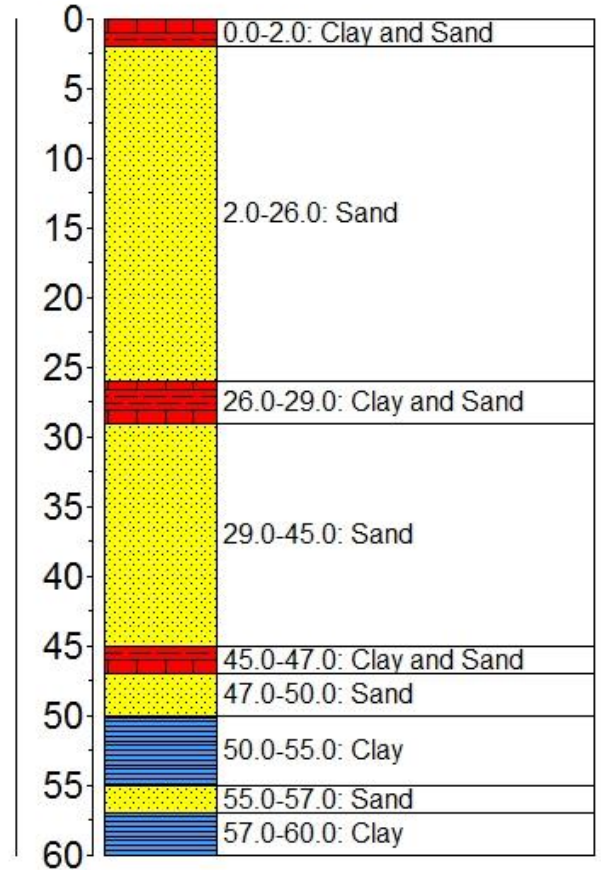
HASIL PENELITIAN YANG DIVALIDASI DENGAN DATA HASIL Uji DATA BOR DI KABUPATEN BANTUL



A11



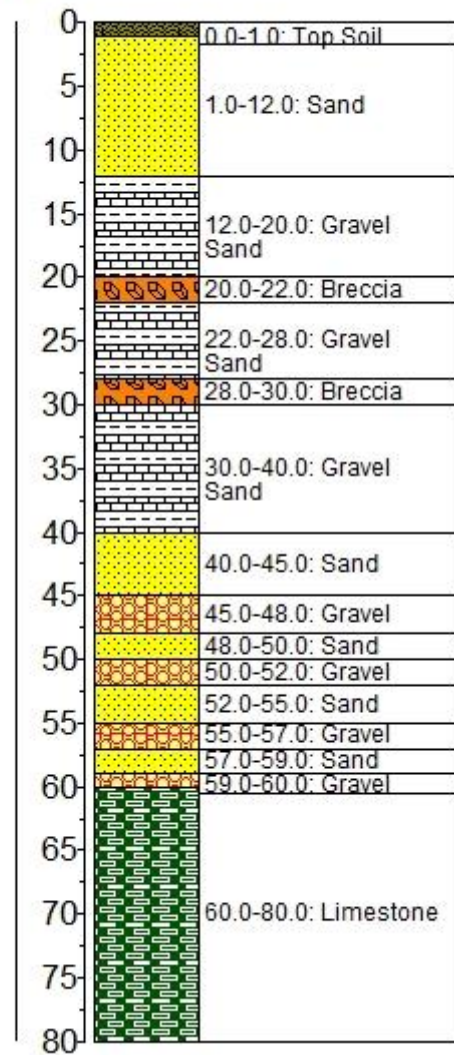
A28



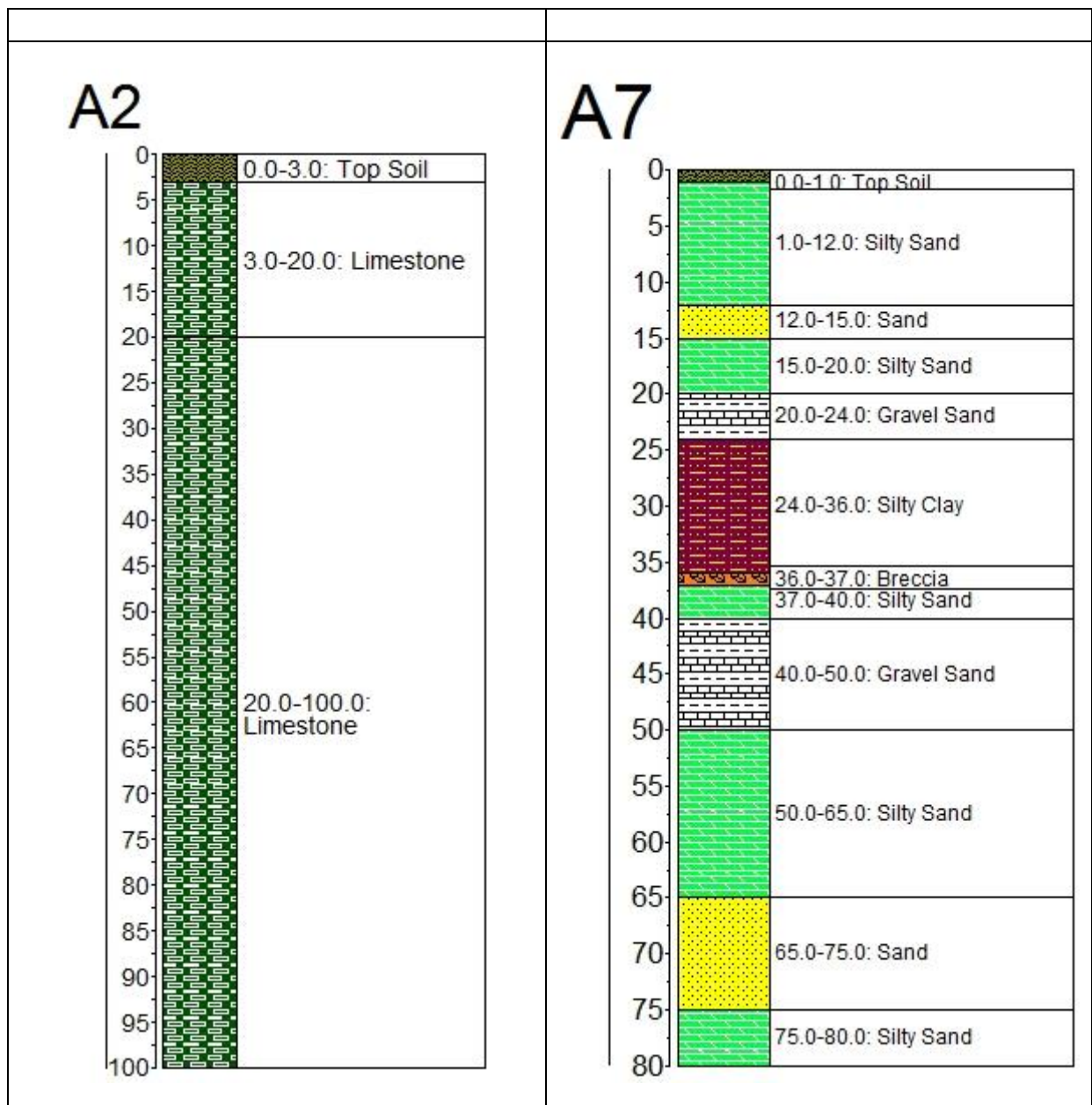
Zona II

NO	TITIK	H (m)
19	2	3.70
20	9	7.80
21	b3	10.02
22	titik-34	14.55
23	10	15.92
24	titik-25	16.00
25	titik-1	16.47
26	titik-28	17.53
27	titik-9	17.67
28	titik-19	18.19
29	b4	18.30
30	c9	18.33
31	titik-48	18.41
32	titik-11	20.10
33	titik-37	20.44
34	b6	20.53
35	b9	20.81
36	12	21.11
37	titik-24	21.60
38	b7	21.73
39	titik-13	21.76
40	titik-26	22.84
41	13	22.94
42	3	23.41
43	titik-23	26.34
44	6	27.95
45	18	28.10
46	15	28.48
47	c10	28.89
48	b2	29.32
49	c1	30.79
50	titik-5	33.70
51	b8	34.54
52	8	34.77
53	titik-35	37.08
54	titik-43	41.90
55	1	44.70
56	titik-4	46.05
57	4	47.15
58	b5	50.34
59	5	63.38
60	11	74.82

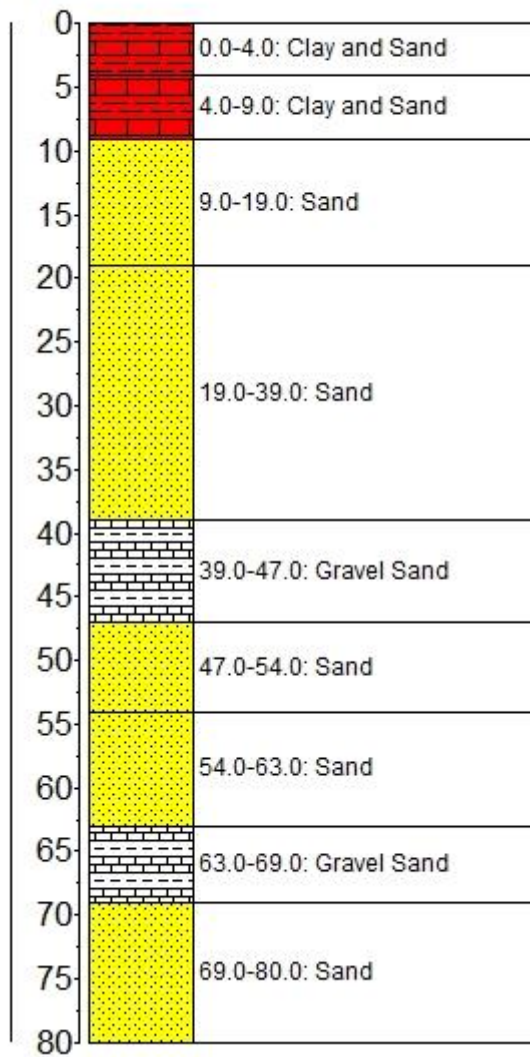
A15



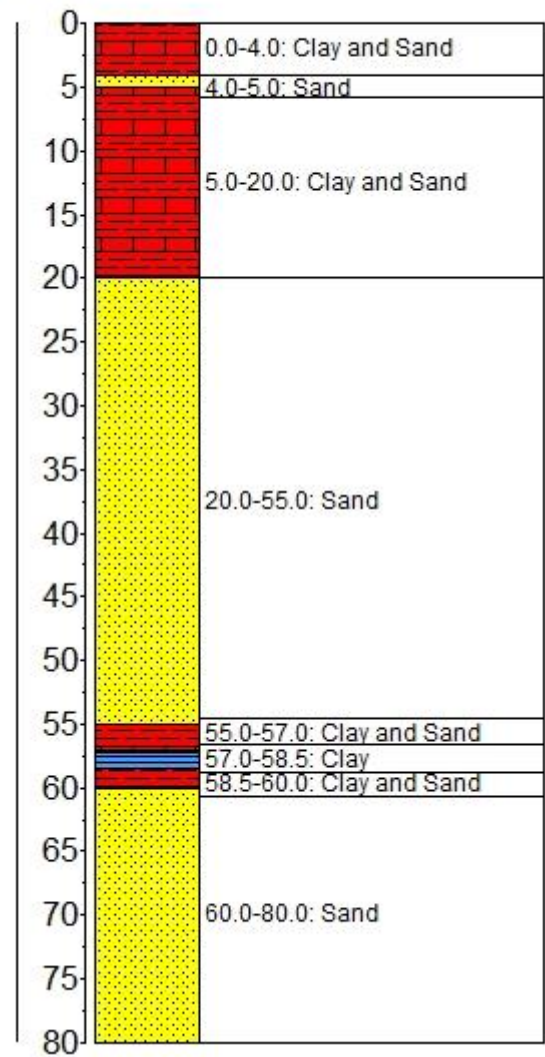
61	7	90.75		
----	---	-------	--	--



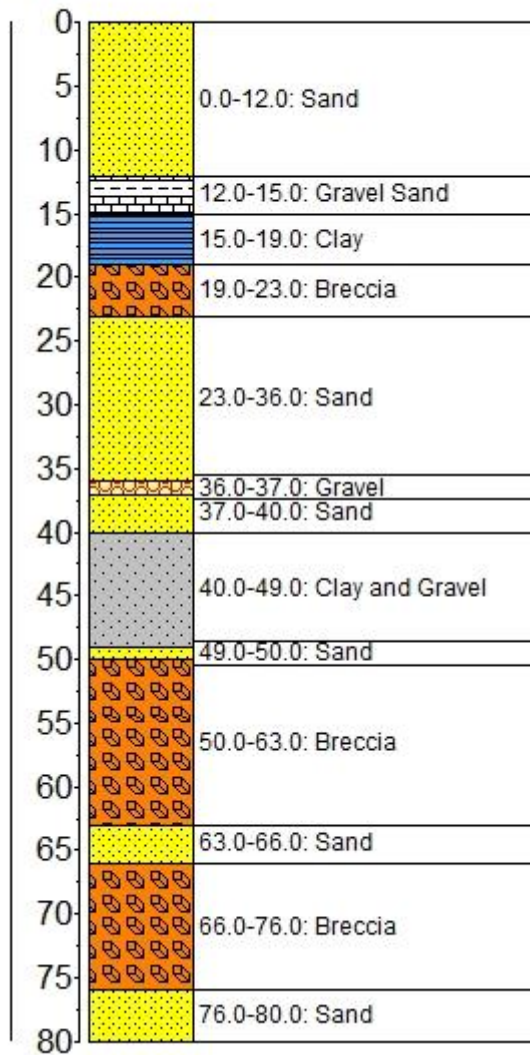
A25



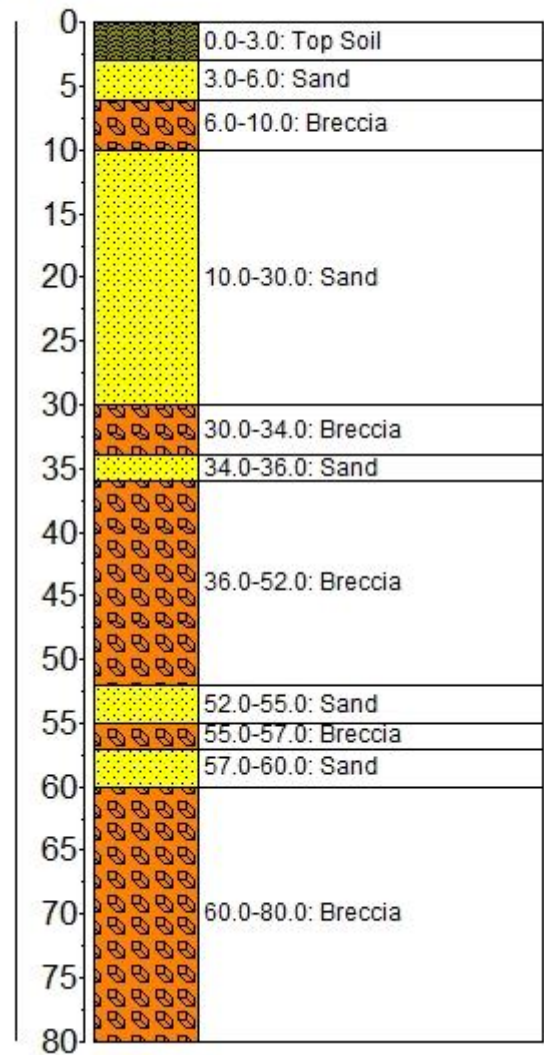
A27



A29



A26



LAMPIRAN VII

PENGELOMPOKKAN KETEBALAN SEDIMEN TERVALIDASI DATA BOR

Zona I			Zona II						Zona III			Zona IV		
No	Titik	H (m)	No	Titik	H (m)	No	Titik	H (m)	No	Titik	H (m)	No	Titik	H (m)
1	d3	34.90	19	2	3.70	41	13	22.94	62	23	7.03	70	b1	58.19
2	d7	36.64	20	9	7.80	42	3	23.41	63	38	9.34	71	22	45.81
3	d8	37.18	21	b3	10.02	43	t-23	26.34	64	34	9.76	72	14	48.47
4	ta4	40.63	22	t-34	14.55	44	6	27.95	65	28	16.64	73	41	56.22
5	ta11	41.82	23	10	15.92	45	18	28.10	66	20	17.63	74	19	62.71
6	ta2	42.29	24	t-25	16.00	46	15	28.48	67	24	20.09	75	25	69.30
7	ta3	47.71	25	t-1	16.47	47	c10	28.89	68	36	42.49	76	30	73.75
8	ta6	49.75	26	t-28	17.53	48	b2	29.32	69	43	63.46	77	27	77.51
9	d6	50.07	27	t-9	17.67	49	c1	30.79				78	26	87.04
10	ta7	51.75	28	t-19	18.19	50	t-5	33.70				79	21	97.96
11	d2	54.01	29	b4	18.30	51	b8	34.54				80	40	100.95
12	ta8	55.22	30	c9	18.33	52	8	34.77				81	31	101.73
13	ta5	56.21	31	t-48	18.41	53	t-35	37.08				82	33	108.30
14	ta9	57.95	32	t-11	20.10	54	t-43	41.90				83	45	110.54
15	d5	65.21	33	t-37	20.44	55	1	44.70				84	16	122.25
16	d9	96.63	34	b6	20.53	56	t-4	46.05				85	17	124.46
17	ta10	100.14	35	b9	20.81	57	4	47.15				86	32	135.37
18	ta1	133.58	36	12	21.11	58	b5	50.34						
			37	t-24	21.60	59	5	63.38						
			38	b7	21.73	60	11	74.82						
			39	t-13	21.76	61	7	90.75						
			40	t-26	22.84									

LAMPIRAN VIII

DOKUMENTASI PENGAMBILAN DATA

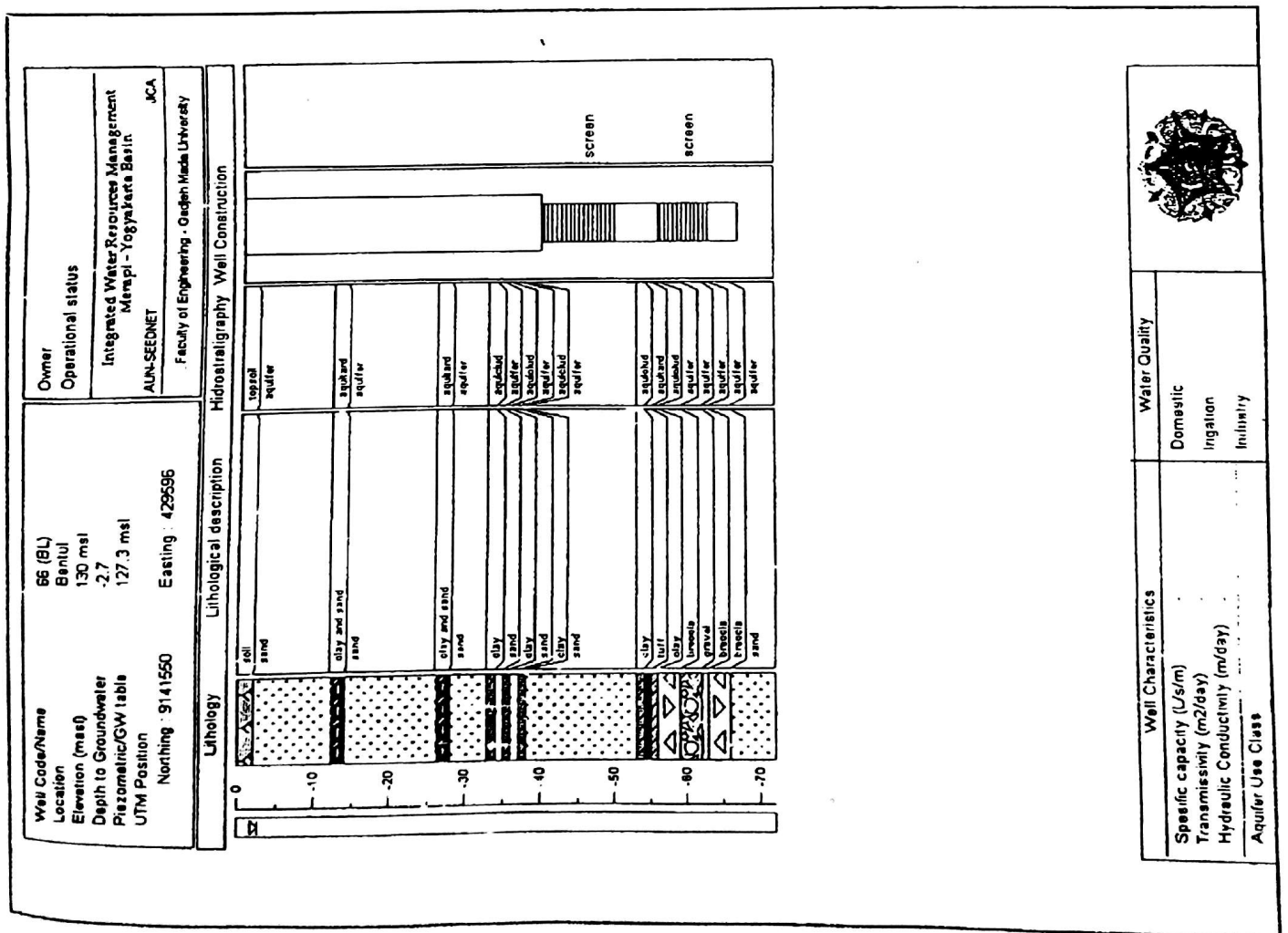


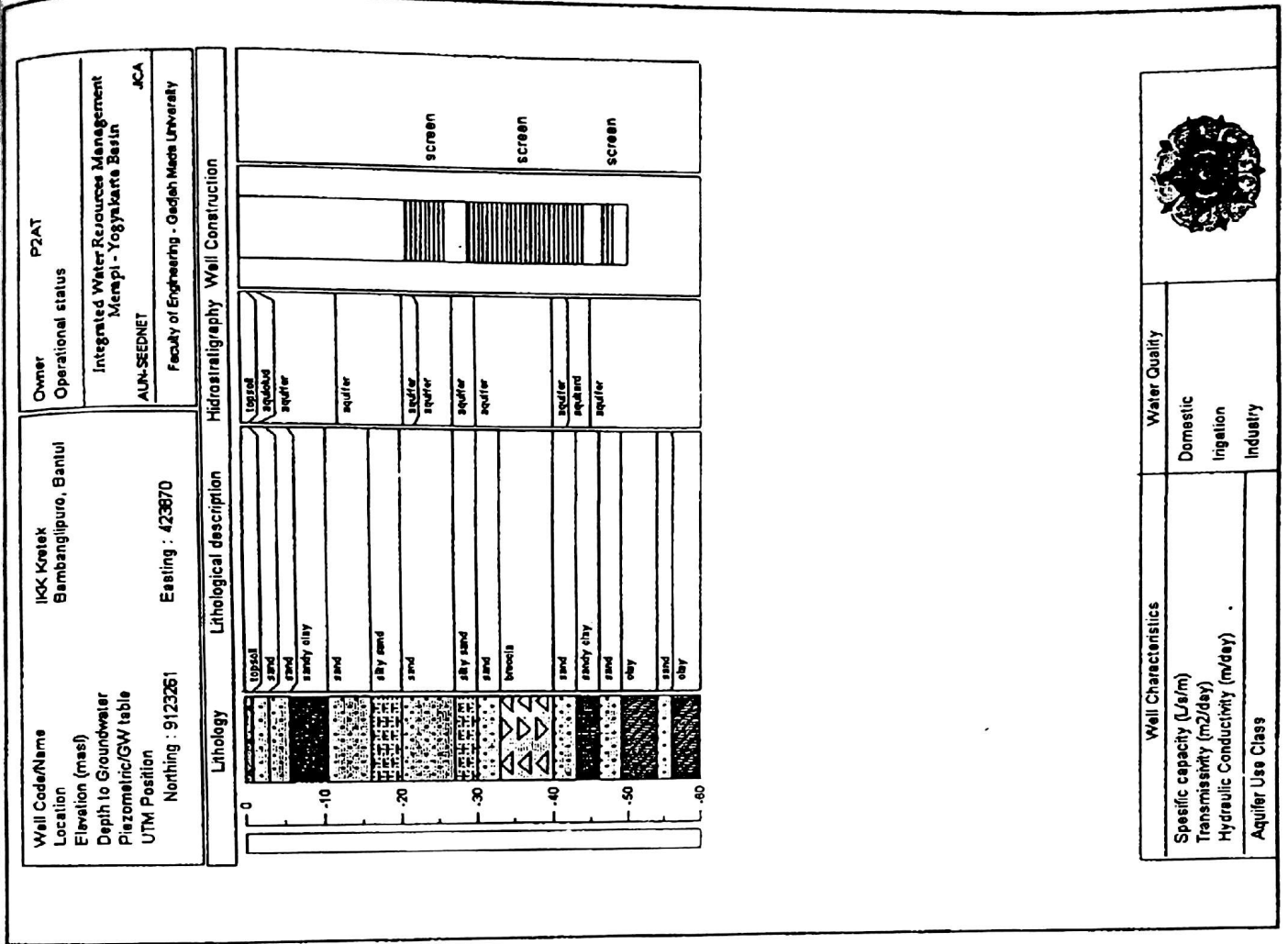
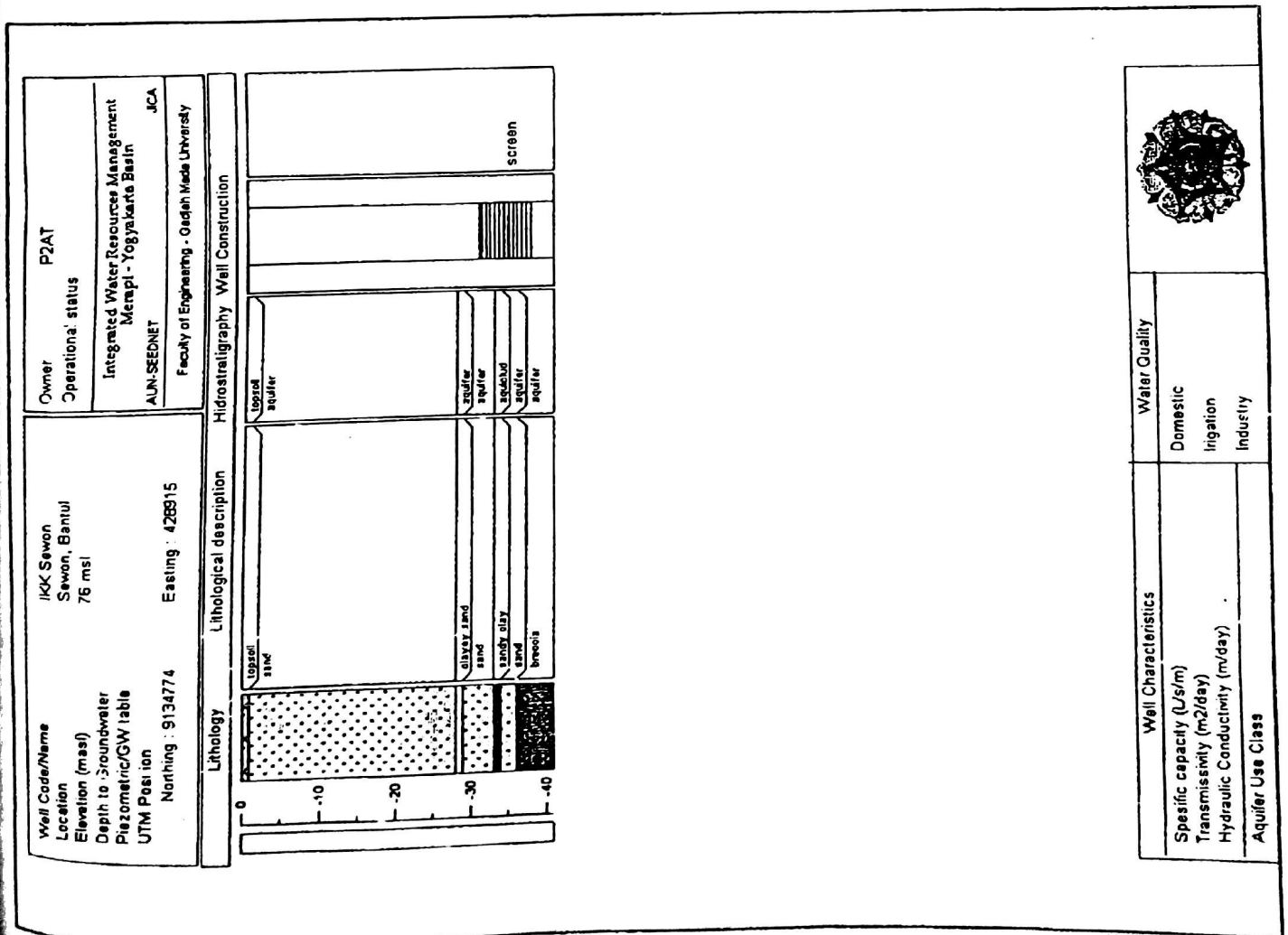
LAMPIRAN IX
DATA BOR DI KABUPATEN BANTUL

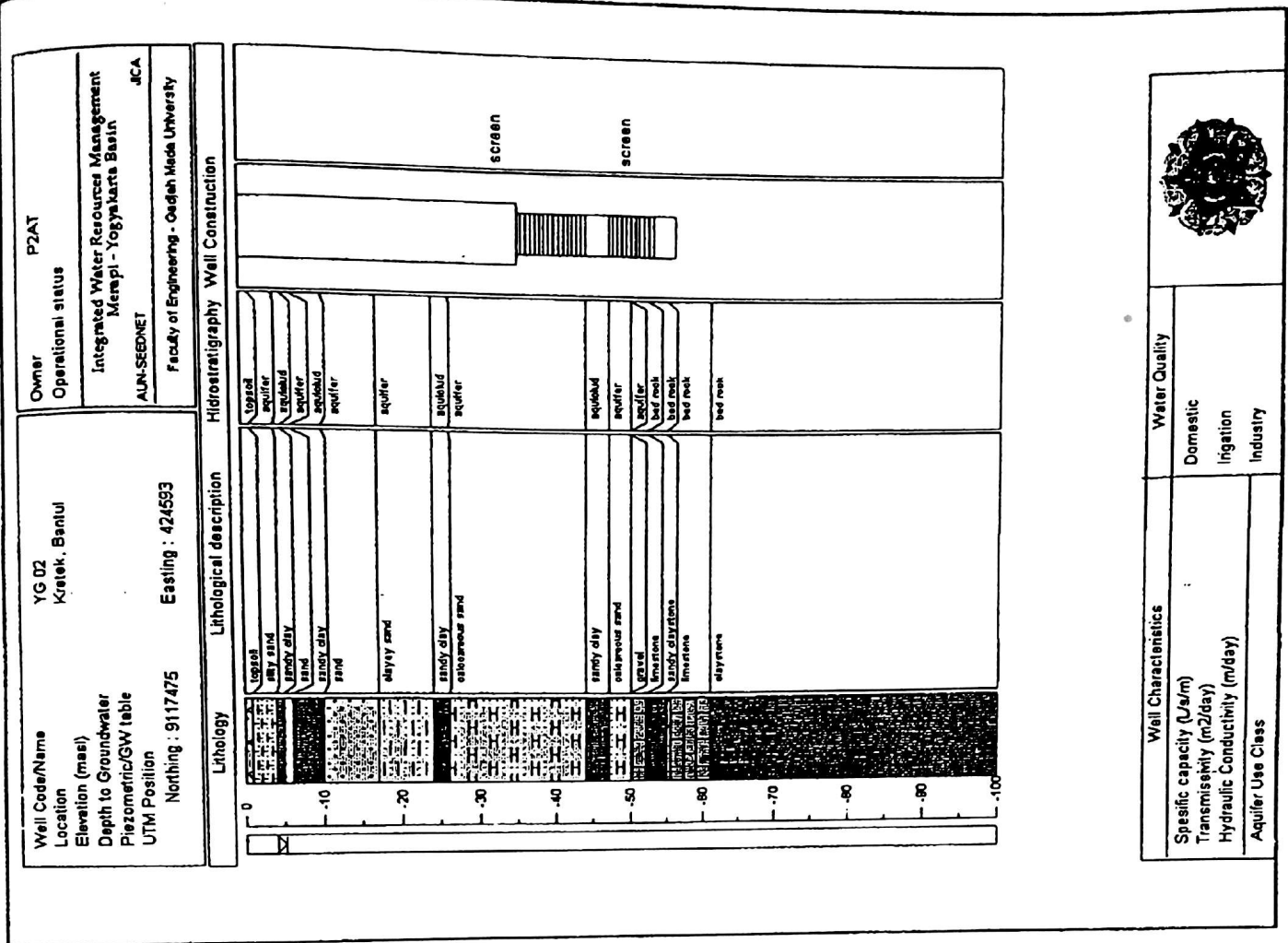
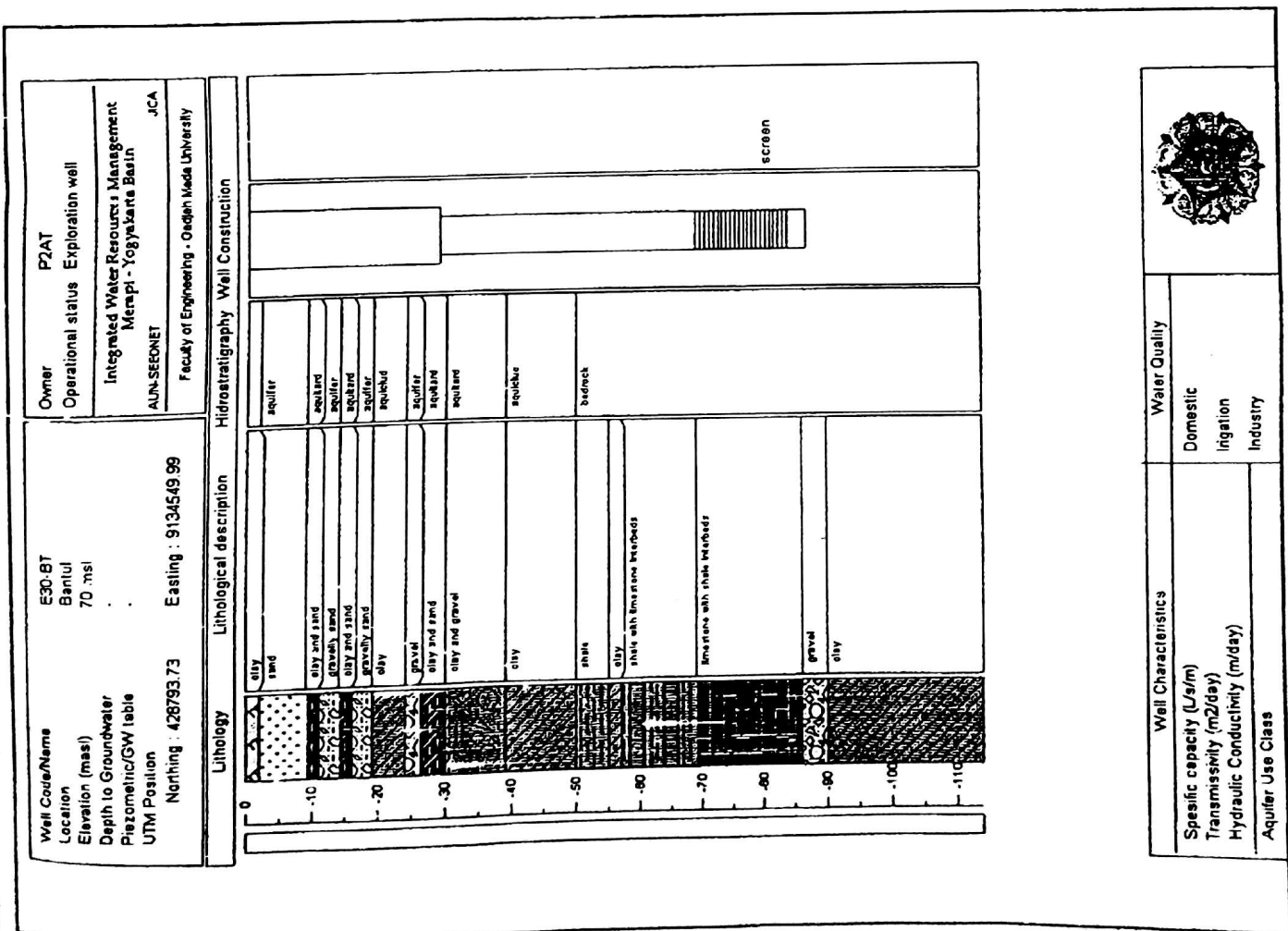
DATA LOKASI DAN HASIL UJI BOR DI KABUPATEN BANTUL

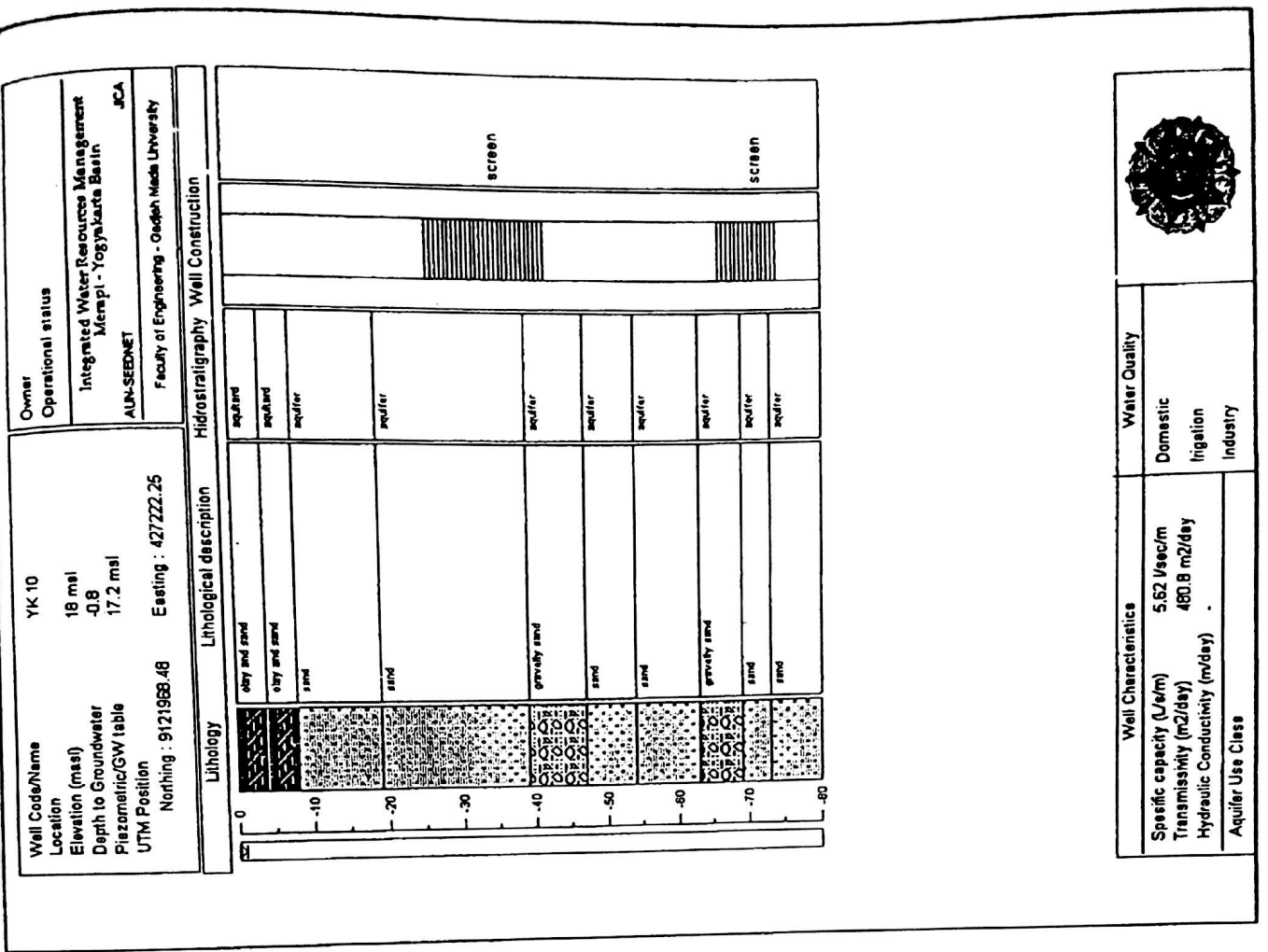
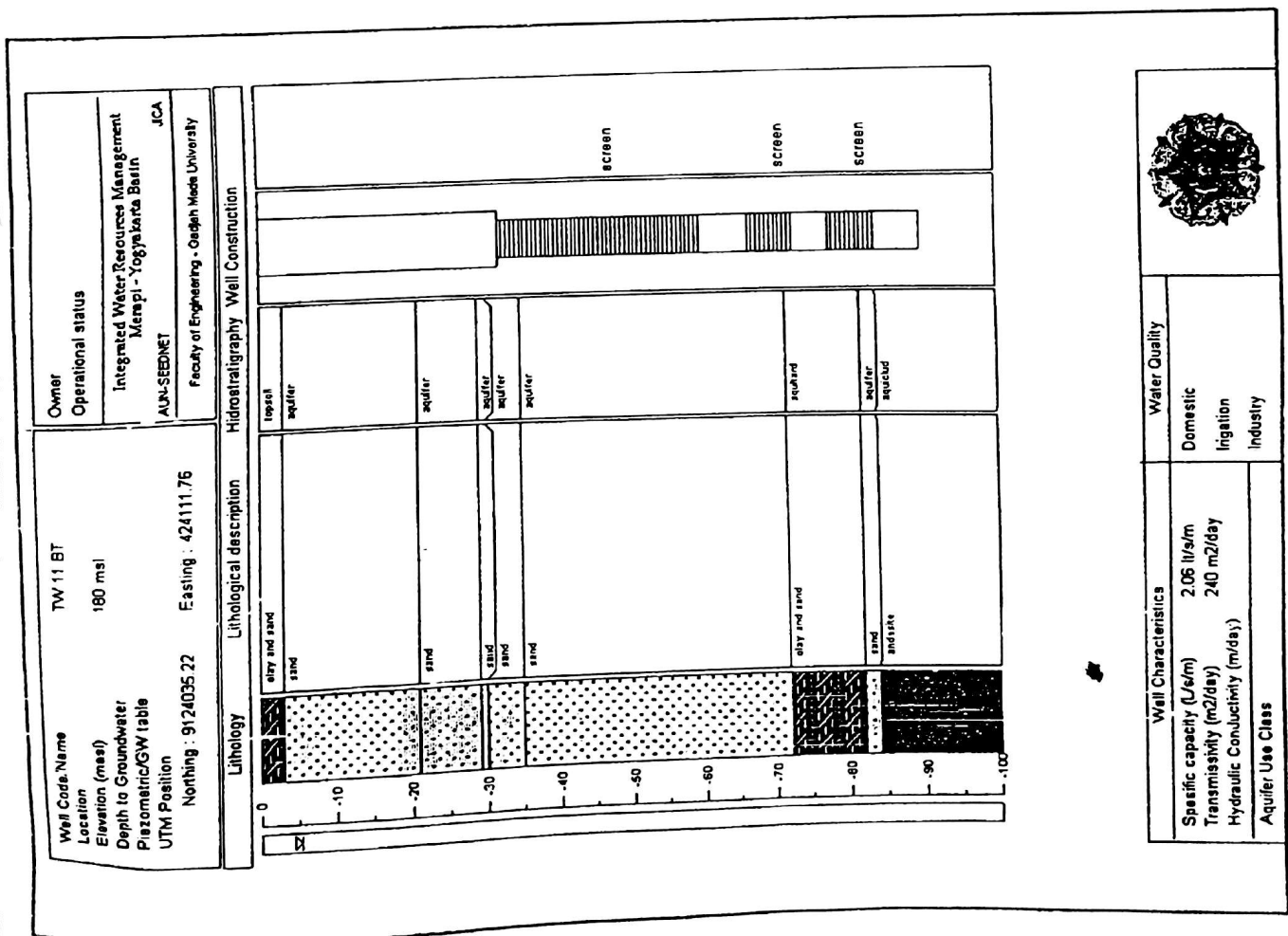
No	Kode Sumur	Koordinat		Lokasi	Elevasi (m dpl)	Penetrasi (m dpt)
		X	Y			
1.	66 (BL)	429596	9141550	Ngestiharjo, Kasihan	130	70
2.	E26 – BT	430100	9121700	Sriharjo, Imogiri	23	100
3.	E29 – BT	426947	9127380	Trirenggo, Bantul	34	120
4.	E31 – BT	428086	9134686	Tirtonirmolo, Kasihan	80	140
5.	E30 – BT	428793	9134549	Panggungharjo, Sewon	70	110
6.	IKK Kretek	423870	9123261	Sumbermulyo, Bambanglipuro	-	60
7.	IKK Imogiri	431166	9126849	Trimulyo, Jetis	41	80
8.	IKK Pandak	422668	9125285	Wijirejo, Pandak	27	80
9.	IKK Jetis	428785	9130000	Timbulharjo, Sewon	-	75
10.	IKK Sanden	419000	9118991	Murtigading, Sanden	-	60
11.	IKK Pundong	427659	9120174	Srihardono, Pundong	-	80
12.	IKK Sewon	428915	9134774	Panggungharjo, Sewon	76	40
13.	Nogosari	427566	9127443	Trirenggo, Bantul	-	100
14.	TW 11 BT	424111	9124035	Sumbermulyo, Bambanglipuro	180	100
15.	TW 07 BT	427897	9123817	Patalan, Jetis	26	80
16.	TW 14 BT	432351	9129737	Wonokromo, Pleret	55	30
17.	TW 15 BT	424090	9123882	Sumbermulyo, Bambanglipuro	26	40
18.	TW 16 BT	423990	9121564	Mulyodadi, Bambanglipuro	23	60
19.	TW 18 SL	427345	9128649	Trirenggo, Bantul	158	100
20.	TW 21 BT	429147	9134549	Panggungharjo, Sewon	80	120
21.	TW 24 BT	419795	9115899	Srigading, Sanden	7	50
22.	TW 25 BT	419700	9115843	Srigading, Sanden	351	20
23.	TW 32 BT	428107	9130435	Timbulharjo, Sewon	64	40
24.	YG 02	424593	9117475	Donotirto, Kretek	-	100
25.	YK 10	427222	9121968	Srihardono, Pundong	18	80
26.	YK 15	426896	9125997	Trirenggo, Bantul	48	80
27.	YK 09	429885	9128939	Timbulharjo, Sewon	36	80
28.	YK 11	424375	9121132	Mulyodadi, Bambanglipuro	15	60
29.	YK 17	429051	9128037	Sabdodadi, Bantul	35	80
30.	YG 03	426000	9125800	Palbapang, Bantul	38	80
31.	YK 12	421240	9119162	Srigading, Sanden	12	60
32.	YK 08	428984	9134767	Panggungharjo, Sewon	82	80

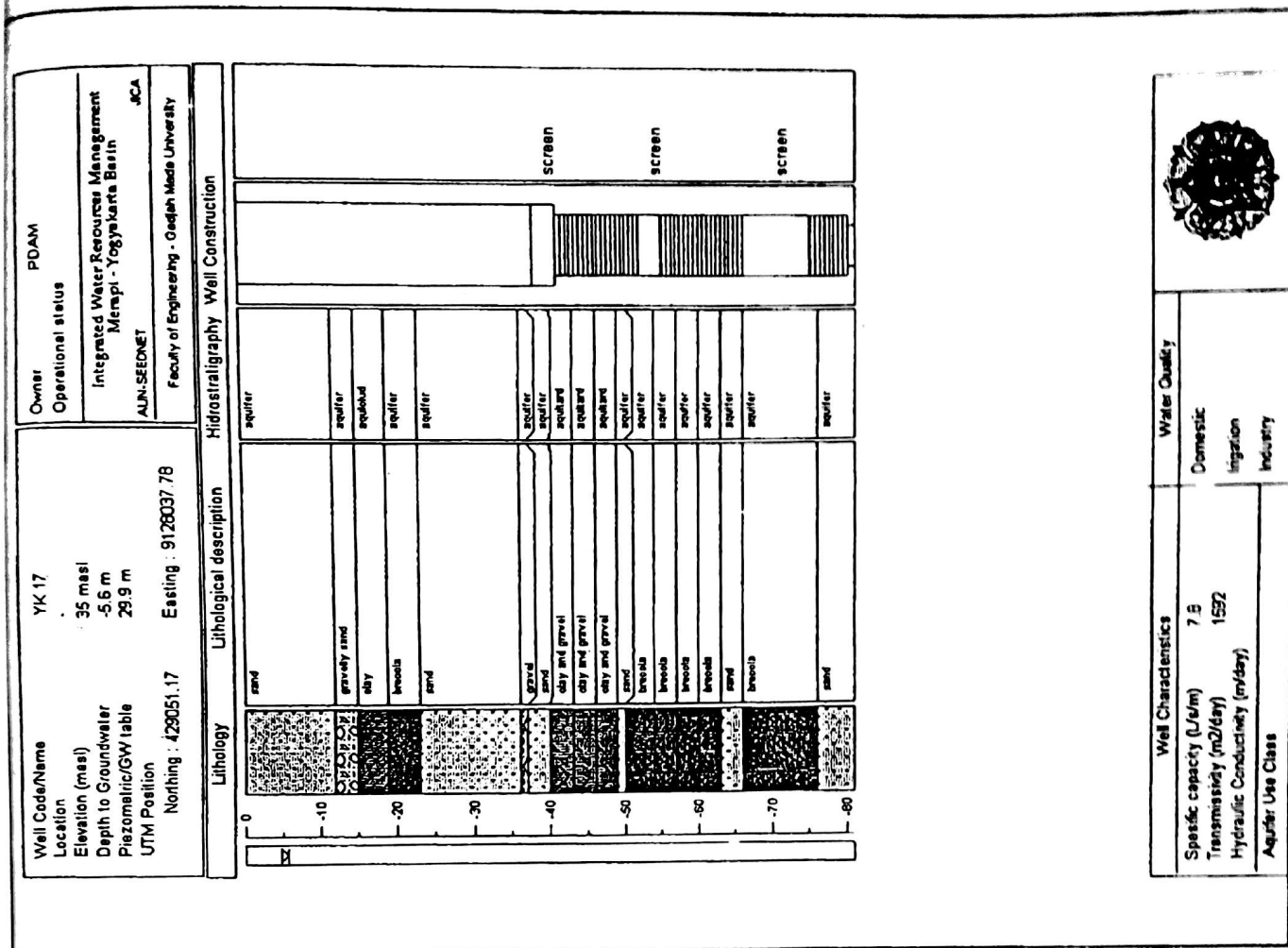
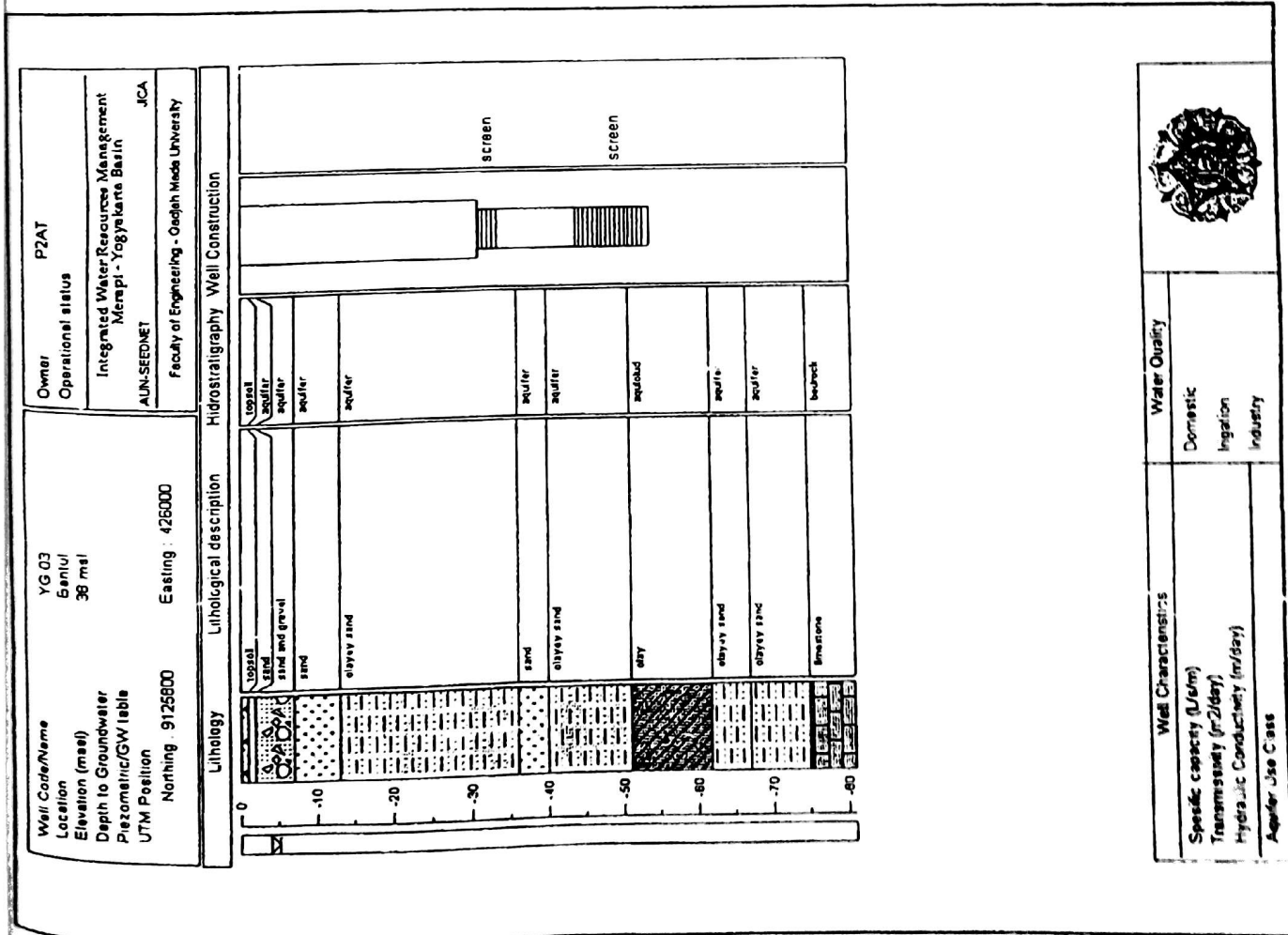
Sumber: Fakultas Teknik UGM, 2006











Well Code/Name		Owner		P2AT	
Location		Operational status			
Elevation (masl)		Integrated Water Resources Management			
Depth to Groundwater		Mempit - Yogyakarta Basin			
Piezometric/GW table		AUN-SEEDNET		JCA	
UTM Position		Faculty of Engineering - Oadish Made University			
Northing : 9125285		Easting : 422650			
Lithology		Lithological description		Hydrostratigraphy Well Construction	
0	0	0	0	0	0
10	10	10	10	10	10
20	20	20	20	20	20
30	30	30	30	30	30
40	40	40	40	40	40
50	50	50	50	50	50
60	60	60	60	60	60
70	70	70	70	70	70
80	80	80	80	80	80
90	90	90	90	90	90
100	100	100	100	100	100

Well Characteristics

Specific capacity (l/s/m)

Transmissivity (m²/day)

Hydraulic Conductivity (m/day)


Aquifer Use Class

Water Quality

Domestic

Irrigation

Industry



Well Code/Name Location Elevation (masl) Depth to Groundwater Piezometric/GW table UTM Position Northing : 429885.24 Easting : 9128839.38	YK 09 36 masl - 9.64 m 26.36 m	Owner Operational status Integrated Water Resources Management Ministry - Yogyakarta Basin JICA ALUN-SEEDNET Faculty of Engineering - Oudh Maeda University	PDAM
--	---	---	------

Lithology	Lithological description	Hydrostratigraphy	Well Construction
	clay and sand sand clay and sand clay and sand clay and sand sand clay and sand sand clay and sand clay clay and sand sand sand	topsoil aquifer aquifer aquifer aquifer aquifer aquifer aquifer aquifer aquifer aquifer aquifer aquifer	 screen screen

Well Characteristics		Water Quality	
Specific capacity (l/s/m)	-	Domestic	
Transmissivity (m ² /day)	-	Irrigation	
Hydraulic Conductivity (m/day)	-	Industry	
Aquifer Use Class			

